Ente Nazionale per l'Aviazione Civile

AEROPORTO CIVILE DI LAMEZIA TERME (CZ)

LOTTO L1 - Sviluppo aerostazione passeggeri
CUP: H84G22000030009
LOTTO L2 - Interventi per la security e la digitalizzazione
CUP: H86I22000390002
LOTTO L6 - Potenziamento delle reti di sottoservizi e impianti tecnologici
CUP: H84G22000060009

PROGETTO ESECUTIVO

RELAZIONI SPECIALISTICHE

RELAZIONE GEOLOGICA E SISMICA

GRUPPO DI PROGETTAZIONE Raggruppamento Temporaneo di Professionisti	Direttore Tecnico e Responsabile integrazione prestazioni specialistiche: ing. Filippo Busola Geologia: dott. Emanuele. Fresia Progettazione idraulica: ing. A. Cacciatori Project Manager: ing. Emanuela Perina CSP: arch. Elisabeth Foroni	Direttore Tecnico: ing. Giambattista Parietti Progettazione Specialistica Impianti: ing. M. Bergami ing. D. Togni ing. E. Facchinetti
Direttore tecnico: Ing. Aeronaut. Carlos Berenguer López Responsabile sistemi di trasporto: Ing. Pedro Tena Calderón	Direttore tecnico: arch. E. Valle Progettazione architettonica: arch. Maria Camilla Valle arch. Leonardo Giovannozzi	Direttore tecnico e progettazione strutturale: ing. Gianluca Vallerini Coordinatore progettazione strutture: ing. Matteo Pagnozzi

CODICE ELABORATO								REVISIONE		
Fase	Lotto	Ambito	Discip	Tipo	Num	Rev	Scala	Id.	Data	Descrizione
E	LL	00	GEO	RE	01	A	--	A	Febbraio2025	Emissione
								B		
								C		
								D		
NOME FILE	AI015P-E-LL-00-GEO-RE-01-A.doc							REDAZIONE		Geol. E. Fresia - Technital

Visto del Committente: **Società Aeroportuale Calabrese S.p.A.**

INTERVENTO FACENTE PARTE DEL	IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO:	IL POST HOLDER DI AREA:
Contratto Istituzionale di Sviluppo “CIS VOLARE”	Ing. Ferdinando Saracco	OPERATIONAL SERVICES MANAGER: Emilio Parrilla PASSENGER EXPERIENCE MANAGER: Sabrina Mileto PH PROGETTAZIONE: Ferdinando Saracco

Approvazione **ENAC**:

INDICE

1. PREMESSA ... 3
1.1. Oggetto e scopo ... 5
1.2. Metodologie utilizzate ... 5
2. NORMATIVA ... 7
3. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E GEOLOGICO ... 8
4. INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO ... 13
5. IDROGRAFIA E IDROGEOLOGIA ... 17
5.1. Idrografia ... 17
5.1. Idrogeologia ... 17
6. SISMICA ... 21
6.1. Faglie capaci e sismogenetiche ... 30
6.2. Liquefazione dei terreni ... 31
7. INDAGINI GEOGNOSTICHE ... 34
7.1. Indagini geognostiche pregresse ... 34
7.1.1. Indagini anno 2005 ditta ICEI ... 35
7.1.2. Indagini anno 2012 ditta Geoconsol ... 36
7.1.3. Indagini anno 2023 ditta C.I.G.I.T. per corpo avanzato ... 45
7.1.4. Indagini anno 2023 ditta C.I.G.I.T. per riqualifica della viabilità di accesso ... 49
7.2. Indagini geognostiche eseguite ... 53
7.2.1. Attività preliminari ... 55
7.2.2. Sondaggi con prove in sito e prelievo di campioni ... 55
7.2.3. Prove di laboratorio geotecnico ... 58
7.2.4. Prove di laboratorio ambientale ... 60
7.2.5. Prove penetrometriche statiche continue con punta elettrica e piezocono (CPTU) ... 61
7.2.6. Indagini geofisiche ... 64
8. INTERAZIONI OPERE TERRENI E CONCLUSIONI ... 66

1. PREMESSA

Il presente documento costituisce la relazione geologica, geomorfologica ed idrogeologica del Progetto Esecutivo di ampliamento ed ammodernamento dell'aeroporto di Lamezia Terme comprensivo degli interventi sui terminal, per la security e la digitalizzazione, il potenziamento delle reti di sottoservizi e degli impianti tecnologici.

A grande scala l'area in studio, di cui uno stralcio in Figura 1.1, si colloca in corrispondenza e immediato intorno dell'Aeroporto Civile Internazionale S. Eufemia, nella porzione sudoccidentale del Comune di Lamezia Terme, Provincia di Catanzaro, Regione Calabria.

Morfologicamente è un contesto pianeggiante prospiciente la linea di costa con quote comprese tra 8-10 m slm circa.

Figura 1.1 - Ubicazione area in studio

Ad un livello di maggiore dettaglio il sedime d'intervento interessa un'area di proprietà della Committenza; il cespite d'interesse è individuato nel Comune di Lamezia Terme, Sezione Sant'Eufemia Lamezia, in Catasto in testa al Demanio Pubblico dello Stato Ramo Trasporti ed Aviazione Civile.

L'intervento mira ad adeguare la capacità dell'aerostazione, che già ora manifesta sofferenza in vari ambiti funzionali, in coerenza con lo sviluppo previsto del traffico aereo nel breve-medio termine e con i necessari standard di servizio che oggi, con il traffico attuale, non vengono pienamente soddisfatti. In tale contesto l'opera oggetto di progettazione si compone di tre interventi strettamente correlati, tutti inclusi nel Contratto Istituzionale di Sviluppo "CIS Volare":

- intervento L1 “Sviluppo aerostazione passeggeri”;
- intervento L2 “Interventi per la security e la digitalizzazione dell’aerostazione passeggeri”;
- intervento L6 “Potenziamento reti sottoservizi e impianti tecnologici” dell’aeroporto di Lamezia Terme”.

I tre lotti benché definiti separatamente sono accorpati all’interno di una progettazione unitaria, necessitando di scelte progettuali coordinate in quanto le opere da realizzare afferiscono ad un’unica infrastruttura e hanno ad oggetto interventi strettamente interconnessi tra loro che, pertanto, necessitano di una gestione integrata dal punto di vista architettonico, impiantistico e strutturale, garantendo in fase esecutiva una “fasizzazione realizzativa coordinata” e, contestualmente, il mantenimento dell’operatività delle attività aeroportuali.

Ad oggi l’aerostazione di Lamezia Terme svolge contestualmente le funzioni Arrivi e Partenze del traffico passeggeri, mentre l’attuazione del progetto prevede una separazione dei flussi in due distinti fabbricati. Pertanto, mantenendo uno sviluppo in continuità con l’attuale aerostazione, le opere principali rientranti nell’intervento L1 prevedono la realizzazione del nuovo terminal partenze in corrispondenza dell’attuale aerostazione merci, e l’adeguamento dell’aerostazione esistente che sarà destinata a terminal arrivi, oltre alla demolizione dell’officina meccanica che si trova in posizione centrale fra i due futuri terminal. I nuovi corpi di fabbrica saranno collegati da pensiline ad ampio volume sia in Air Side che in Land Side. In figura seguente una planimetria con lo stato di fatto ed evidenza delle opere in progetto.

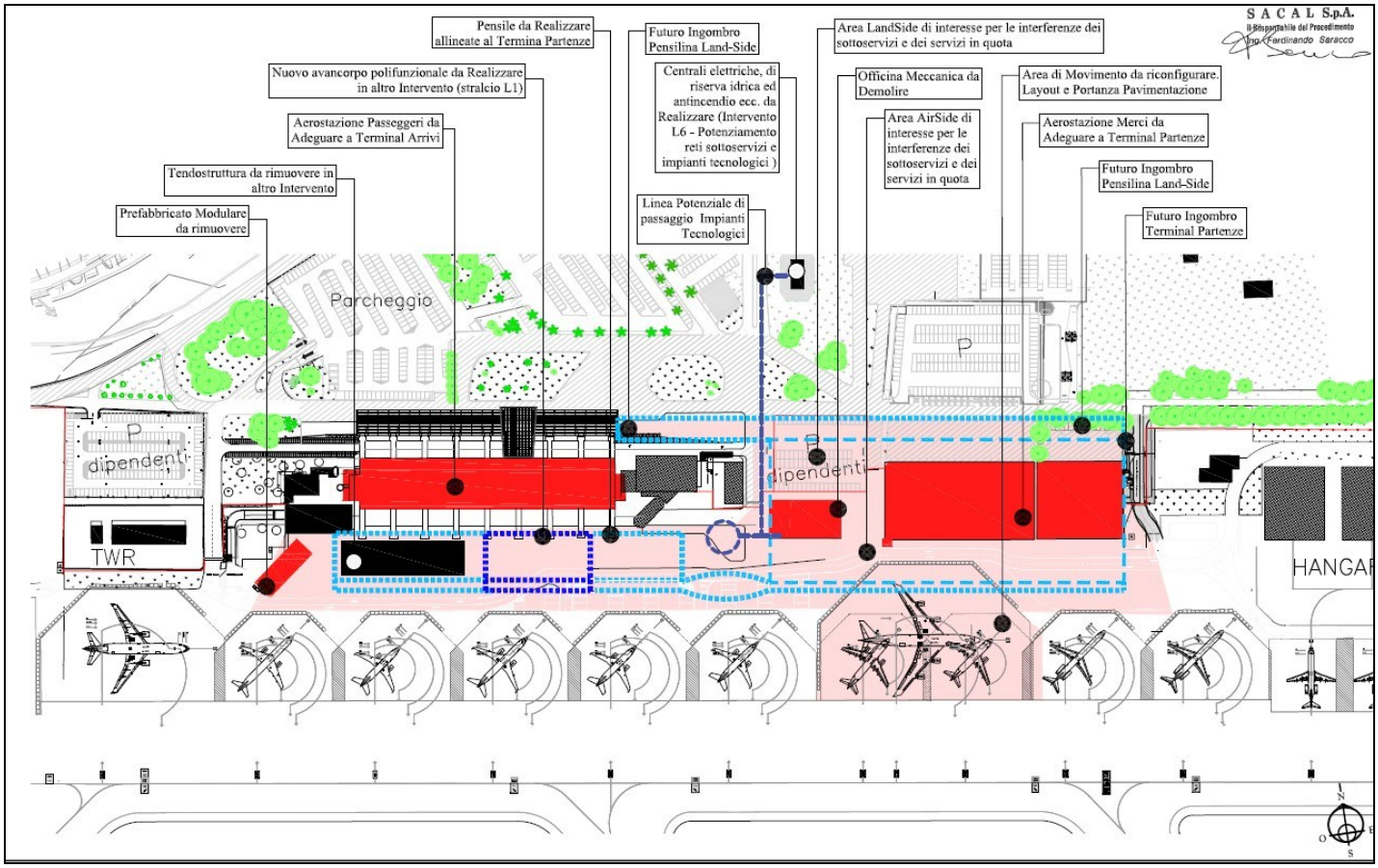

Figura 1.2 Planimetria generale stato di fatto con aree e fabbricati di progetto

1.1. Oggetto e scopo

Oggetto del presente lavoro è la Progettazione Esecutiva degli interventi di ammodernamento ed infrastrutturazione dell'aeroporto di Lamezia Terme (Cz).

Lo scopo della relazione è fornire le informazioni atte a delineare un quadro completo delle caratteristiche geologiche, geomorfologiche, idrogeologiche e sismiche dell'area studiata.

Il presente documento, redatto attraverso l'ausilio di studi mirati sul territorio, permette quindi di:

- ricostruire dettagliatamente gli aspetti naturalistici del territorio ove sono collocate le opere;
- descrivere le indagini geognostiche eseguite nelle diverse fasi progettuali;
- rappresentare analiticamente tutta la gamma di informazioni geologiche e stratigrafiche individuando il modello di riferimento progettuale;
- definire la distribuzione e la caratterizzazione delle principali falde idriche presenti nel sottosuolo;
- individuare eventuali condizioni di pericolosità geologica, geomorfologica e idrogeologica e, più in generale, segnalare la presenza di situazioni tali da determinare vincoli o condizionamenti nell'ambito della progettazione;
- fornire un inquadramento sismico delle aree e dei terreni;
- illustrare l'interazione fra opere e terreni fornendo gli elementi per una corretta progettazione;

1.2. Metodologie utilizzate

Il documento è stato redatto sulla base delle informazioni fornite dalla committenza e relative ad altre e precedenti fasi progettuali della medesima aerostazione e/o di sue pertinenze, di documentazione bibliografica acquisita, di rilievi di campo, delle risultanze di indagini geognostiche pregresse e di una campagna geognostica, ambientale, topografica e sulle strutture specificamente pianificata ed eseguita nei primi mesi del 2024.

La bibliografia utilizzata è citata nel testo.

Attraverso l'interpretazione dei dati ricavati dalle indagini si è giunti ad una caratterizzazione geologico-stratigrafica, geomorfologica ed idrogeologica compatibile con il livello progettuale in essere.

I rilievi di campagna, l'esame della documentazione bibliografica ed i risultati delle indagini hanno permesso la redazione dei seguenti elaborati, che completano ed integrano la presente relazione ed a cui si rimanda per maggiori dettagli:

- planimetria con ubicazione indagini;
- carta geologica e geomorfologica;
- carta idrogeologica;

- sezione geologica;
- risultati indagini pregresse;
- risultati indagini eseguite;
- relazione geotecnica.

2. NORMATIVA

- Decreto Ministero dei Lavori Pubblici n. 47 (11 marzo 1988) “Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione".

- Eurocodice 8 – Indicazioni progettuali per la resistenza sismica delle strutture. Parte 5: Fondazioni, Strutture di contenimento ed Aspetti geotecnici (1998).

- Circolare Ministero Lavori Pubblici 24 settembre 1988 n.30483 “Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione. Istruzioni per l'applicazione”. (Pres. Cons. Superiore — Servizio Tecnico Centrale).

- Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri del 20 marzo 2003 “Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica (ordinanza n. 3274 – Allegati 1, 2 e 3);

- Piano Regionale di Tutela delle Acque della Regione Calabria approvato con DGR 30/06/2009 n° 394, e successive modifiche ed integrazioni;

- D.Lgs 152/2006 e ss.mm. Testo Unico Ambientale;

- D.P.R. 13 giugno 2017 n. 120, “Regolamento recante la disciplina semplificata della gestione delle terre e rocce da scavo”, ai sensi dell'articolo 8 del decreto-legge 12 settembre 2014, n. 133, convertito, con modificazioni, dalla legge 11 novembre 2014, n.164;

- Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al DM 17/01/2018, pubblicate sulla G.U. del 20.02.2018.

- Circolare 21/01/2019 n 7 C.S.LL.PP. Istruzioni per l’applicazione dell’Aggiornamento delle Norme Tecniche per le costruzioni di cui al DM 17/01/2018

3. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E GEOLOGICO

L'Aeroporto di Lamezia Terme è situato in località S. Eufemia nel comune di Lamezia Terme (CZ) a circa 2 Km dallo svincolo di Lamezia dell'autostrada A2 (Salerno – Reggio Calabria), a circa 2 Km dalla stazione ferroviaria di Lamezia lungo la direttrice del Tirreno, a circa 80 Km dal porto container di Gioia Tauro, ad una distanza di circa 1,5 Km dalla linea di costa che diventano meno di 500 m per la parte terminale della pista di volo, orientata circa Est-Ovest. Si sviluppa su un'area di circa 260 ettari ed è costituito da una pista di volo di circa 3.000 m, un piazzale di sosta aa/mm, bretelle di collegamento, aerostazione passeggeri e merci, parcheggi ed infrastrutture minori di supporto alle attività aeroportuali.

Ad una scala regionale il territorio calabrese, posto nella porzione più meridionale della penisola italiana, presenza un caratteristico andamento ad arco (Arco Calabro-Peloritano) legato alla sua particolare evoluzione geologica. Rappresenta infatti l'attuale stato di massima distorsione della Catena Appenninico-Maghrebide, e l'elemento di accordo fra gli assi NW-SE dell'Appennino meridionale con quelli E-W delle Maghrebidi (Amodio Morelli et al 1976, Bonardi et al 1980, Vai 1992). Tale distorsione è legata all'attività geodinamica profonda e presenta velocità ed entità di espansione massime nella porzione più meridionale, trovando riscontro di ciò nella spiccata sismicità regionale. Le rocce granitiche e metamorfiche, che compongono quasi totalmente i rilievi della Sila, delle Serre e dell'Aspromonte, spiccano nettamente rispetto alle rocce calcaree e terrigene che compongono gran parte dell'Appennino meridionale e della Sicilia.

Figura 3.1 Sistema Appenninico Maghrebide (Amodio Morelli et al 1976)

Il settore a nord dell'allineamento Capo Vaticano – Soverato, dove ricade la provincia di Catanzaro con l'area in studio vede la sovrapposizione tettonica, con piani di accavallamento aventi polarità europea, di unità cristalline riconducibili a porzioni di crosta continentale ed oceanica deformati messi in posto a partire dal cretaceo. Tali unità si sovrappongono a depositi con polarità africana che rappresentano le falde dei domini appenninici più interni. Questa struttura regionale è solcata da

importanti sistemi tardivi di faglie legate all'apertura del Tirreno, disposti parallelamente e trasversalmente alla catena, responsabili dell'apertura di importanti bacini sedimentari sia continentali che marini, longitudinali alla catena calabra (bacini del Crati, del Mesima, di Crotone-Capo Spartivento, di Paola-Gioia) e trasversali (fossa del basso Crati-Sibari, fossa di Catanzaro, fossa di Sibari) nonché di numerosi elementi strutturali come Horst e Graben. Questi ultimi in particolare sono stati sede di deposizione di terreni sedimentari, continentali e marini, per lo più argilloso sabbiosi e conglomeratici.

Ad una scala di maggiore dettaglio il sedime aeroportuale ricade nel foglio n° 241 Nicastro della Carta geologica d'Italia in scala 1:100.000, di cui uno stralcio in Figura 3.2, rispetto al quale si colloca nella porzione settentrionale del Golfo di Santa Eufemia, ovvero al margine dell'ampia pianura alluvionale di deposizione e riempimento recente dovuta all'apporto dei principali corsi d'acqua, fra cui il Fiume Amato. Pianura che si estende fra il mare e l'area pedemontana, caratterizzata quest'ultima da un substrato prevalentemente metamorfico e scistoso. La piana lametina è quindi formata dalla coalescenza di numerose conoidi di deiezione di età pleistocenica affiancate per effetto dei contributi dei numerosi corsi d'acqua diretti dai rilievi interni verso mare.

Figura 3.2 Stralcio foglio 241 Nicastro della Carta geologica d'Italia in scala 1:100.000

Il sedime aeroportuale ricade inoltre nel foglio 241 I SW "San Pietro e Maida Scalo" della carta geologica in scala 1:25.000 della Calabria (Figura 3.3), e nel foglio T1c (sud) della Carta geologica allegata al PSC di Lamezia Terme (Figura 3.4). In entrambi questi riferimenti l'aerostazione interessa depositi alluvionali recenti (Olocene – attuale) fissati dalla vegetazione (sigla af) di rilevante spessore. Litologicamente sono composti da ghiaie, sabbie medie e fini fino a sabbie limose, con anche intercalazioni limoso argillose e/o limoso sabbiose dovute a fenomeni di esondazione e/o di impaludimento. Tendenzialmente le granulometrie diminuiscono procedendo da monte verso valle, per cui nell'area dell'aerostazione sono presenti terreni a granulometria variabile dalla sabbia al limo fino al limo argilloso, passanti in profondità a ghiaie sabbioso ciottolose; in prossimità della linea di

costa (e quindi anche nelle porzioni più occidentali oggi occupate dalla pista) sono presenti dune mobili composte da sabbie eoliche a scarso assortimento granulometrico; infine nei quadranti più interni della piana, senza alcuna interferenza diretta con le aree in studio, vi sono depositi ghiaioso conglomeratici o sabbiosi grossolani di origine marina o continentale databili al Pleistocene.

Figura 3.3 Carta geologica della Calabria, foglio 241 SW San Pietro e Maida

Figura 3.4 Carta geologica del PSC di Lamezia Terme (nel cerchio il sedime dell'aerostazione)

L'area del territorio comunale di Lamezia Terme ricade inoltre sul margine settentrionale del più ampio bacino sedimentario che si estende fra i golfi di S Eufemia e Squillace, formatosi a seguito di movimenti tettonici avvenuti alla fine del Miocene, quando una serie di faglie dirette determinò lo sprofondamento della zona istmica e l'inizio di un processo di sedimentazione pliocenica che non fu turbato da alcun altro evento tettonico, come dimostra il normale assetto giaciturale dei sedimenti deposti. In seguito, nel quaternario, il sollevamento isostatico cui il bacino è stato soggetto ha determinato delle superfici di erosione con litologie annesse. Questo bacino sedimentario è ben delimitato da rocce metamorfiche sovrascorse su un più recente substrato calcareo dolomitico triassico, che affiora nella finestra tettonica in località Bagni di Lamezia Terme. Pertanto, l'entroterra comunale è dominato da rocce metamorfiche appartenenti all'Arco Calabro le quali, nel corso della loro messa in posto, hanno subito importanti stress tettonici (peraltro ancora in corso) che hanno determinato estese deformazioni e fratturazioni. Per contro, come risulta dalla cartografia geologica e dalla documentazione bibliografica consultata, l'ampia piana che si sviluppa dalle pendici collinari sino alla linea di costa è composta da estesi e potenti depositi alluvionali trasportati dai corsi d'acqua attraverso una continua azione erosiva nella parte montana dei loro alvei, e deposti nella suddetta piana dove la rapida riduzione di pendenza ha smorzato l'energia di trasporto. Il potente complesso alluvionale poggia in discordanza sul substrato metamorfico antico.

Le indagini eseguite e quelle disponibili nell'ambito del sedime aeroportuale confermano una spiccata variabilità litologica laterale e verticale tipica di ambienti di deposizione alluvionale ad alta energia, e la presenza di un discontinuo orizzonte superficiale di materiale di riporto prevalentemente sabbioso, non particolarmente addensato, di spessore 1-3 m circa. Ad esso fanno seguito, sino alla profondità di 10-15 m da p.c., alternanze di limi sabbioso argillosi compressibili e sabbie limose variamente argillose da poco a mediamente addensate; all'interno dei termini limoso argillosi sono spesso riscontrabili sottili livelli di torba, lignite e/o ad alto contenuto organico. Seguono sabbie e sabbie limose con intercalazioni sabbioso ghiaiose da addensate a ben addensate, talvolta contenenti gusci di bivalvi a testimoniare una deposizione in ambiente marino, che si spingono sino alle massime profondità indagate (circa 50 m da p.c.). Al di sotto secondo bibliografia la sequenza sedimentaria dovrebbe assumere, per uno spessore stimato superiore ai 40 m, una granulometria più grossolana, ghiaioso sabbiosa, cui fanno seguito potenti argille grigie plioceniche consistenti e sovraconsolidate di origine marina. Il complesso alluvionale con le sottostanti argille grigie poggia sul basamento cristallino calabride che si attesta, dalla documentazione bibliografica e dalla interpolazione delle indagini geofisiche disponibili, ad una profondità stimata di qualche centinaio di metri.

4. INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO

Il sedime aeroportuale è delimitato a Nord dal torrente Cantagalli e dal canale Manchetta, a Sud dal Torrente Amato, ad Ovest dal Mar Tirreno (vedi Figura 3.3) e ad Est dall'Autostrada A3 Salerno – Reggio Calabria (vedi Figura 1.1). Il paesaggio morfologico è sub pianeggiante, tipico di una piana alluvionale formatasi a seguito delle variazioni del livello eustatico susseguitesi dal Pleistocene al Quaternario. Tale piana alluvionale a partire dal limite dell'area pedemontana presenta deboli pendenze verso ovest con quote medie, nel sedime in studio, comprese fra 8-10 m s.l.m.m. Al suo interno si riconoscono quattro fasce che si succedono procedendo dal mare verso l'entroterra come segue:

- fascia costiera: dominata da depositi marini prevalentemente sabbiosi;
- fascia retro-costiera: dominata da depositi eolici dunali stabilizzati dalla vegetazione, e più internamente non stabilizzati, con quest'ultimi che interessano anche la porzione occidentale delle piste;
- fascia intermedia: con depositi fluviali recenti la cui composizione in corrispondenza della aerostazione è sostanzialmente limoso sabbioso argillosa;
- fascia interna: formata da depositi di origine eluviale e colluviale in cui sono presenti conglomerati poligenici e sabbie bruno rossastre con locali intercalazioni limo-argillose.

Gli effetti morfo-evolutivi di questa porzione di territorio sono sostanzialmente trascurabili e da ricondurre al più a lente e minime variazioni degli assetti in prossimità degli alvei fluviali, o dove è più marcato l'intervento antropico. L'acclività, caratterizzata da basse pendenze, non è infatti tale da generare processi geomorfici quali erosioni diffuse o concentrate e fenomeni gravitativi.

Dalla consultazione del portale Idrogeo, che accorpa i contenuti del PAI competente per territorio e di cui in Figura 4.1 si riporta uno stralcio, non sussistono perimetrazioni di pericolosità per frana, mentre una pericolosità idraulica elevata si rileva lungo il torrente Cantagalli e Canale Manchetta; tali vincoli sono comunque esterni al sedime dell'aerostazione in generale ed all'area di stretto intervento progettuale in particolare. Coerentemente nulla risulta dalla consultazione del catalogo IFFI, Inventario dei Fenomeni Franosi d'Italia in merito a possibili aree di dissesto.

Figura 4.1 Portale Idrogeo. Pericolosità da frana ed idraulica

Dalla recente adozione (ottobre 2024) del Progetto di Piano Stralcio di Bacino del Distretto Idrografico dell'Appennino Meridionale per l'Assetto, la Mitigazione e la Gestione del Rischio Alluvioni – Calabria/Lao (PSdGDAM-RisAl-Ca/L) adottato con Delibera n. 2 del 24/10:2024, si evince che il sedime aeroportuale ricade in aree a pericolosità idraulica bassa (P1) e rischio idraulico medio (R2).

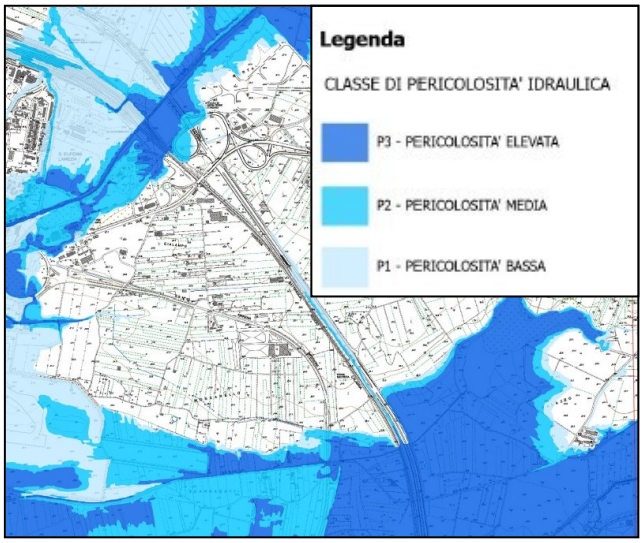

Figura 4.2 PSdGDAM-RisAl-CaL. Carta della pericolosità idraulica

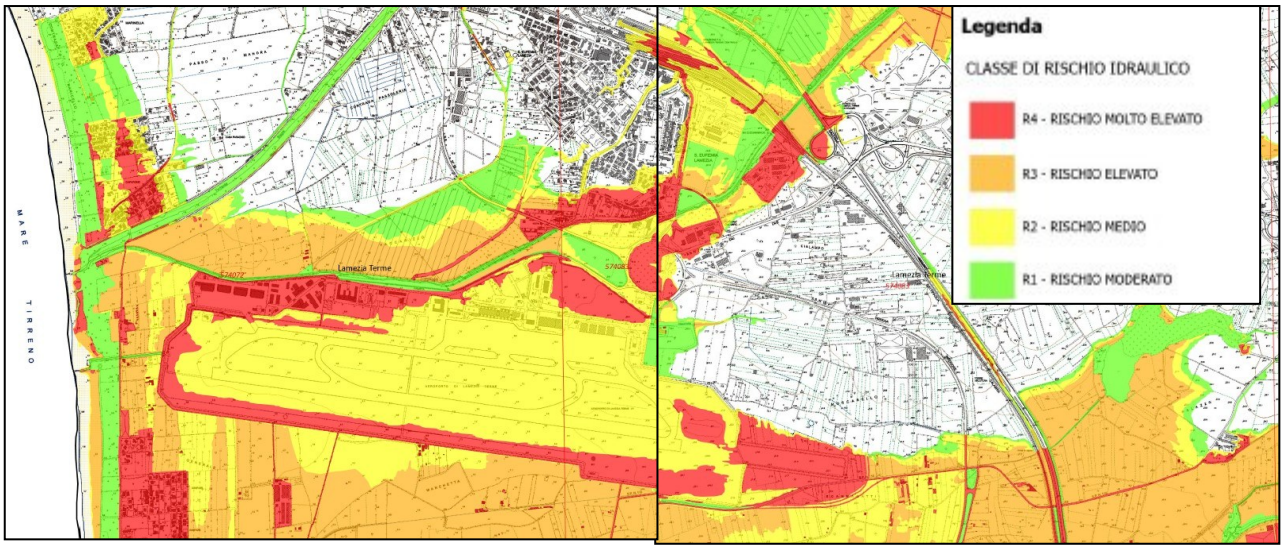

Figura 4.3 PSdGDAM-RisAl-CaL. Carta del rischio idraulico

Dalla consultazione del PSC comunale si evince:

- carta geomorfologica, tavola T.2.c.: in coerenza con il PAI risulta una costa che nel fronte della pista aeroportuale è classificata moderatamente in avanzamento. Pur se la Calabria rileva spesso un elevato rischio di erosione, che può creare potenziali pericoli per le principali infrastrutture (SS18 e linea ferroviaria tirrenica), l'analisi della variazione della linea di costa ha escluso in quest'ambito, per effetto degli apporti dei corsi d'acqua e della presenza di una fitta schiera di dune parallele alla costa, una situazione di potenziale criticità;

- carta clivometrica tavola t.4.c: una superficie pianeggiante classificata in classe 0 con inclinazione 0°-3° e pendenza 0%-5%;

- carta dei vincoli, tavola t.7.c (Figura 4.4): una sostanziale assenza di vincoli, salvo il rischio idraulico lungo i corsi d'acqua già sopra richiamato, oltre ad un elemento puntuale evidenziato dal PAI e rappresentato dallo scatolare idraulico sulla SS18, la cui sezione di deflusso è evidentemente ritenuta insufficiente

Nel complesso la pericolosità geomorfologica potenziale è bassa.

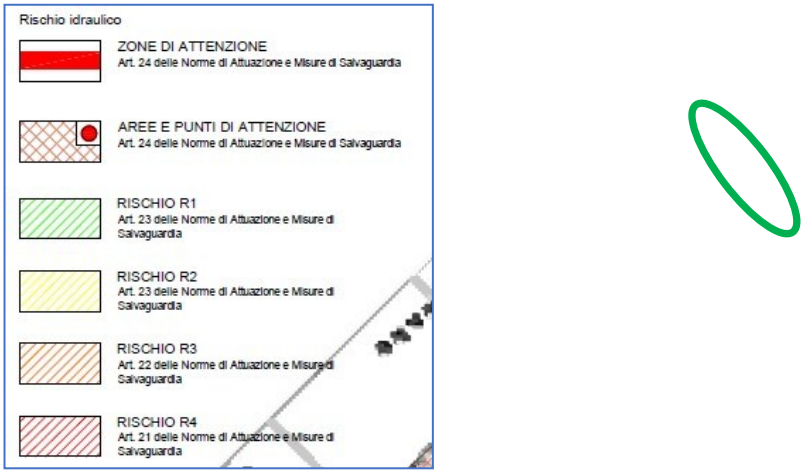

Figura 4.4 PSC Comunale. Carta dei vincoli (l'area dell'aerostazione in verde)

Nella Carta di Fattibilità Geologica del PSC (Figura 4.5) l'intero sedime aeroportuale, con gli edifici e le piste, ricade in classe 3 di "*fattibilità con consistenti limitazioni*". In questa classe ricadono le aree dove si sono riscontrate consistenti limitazioni alla modifica delle destinazioni d'uso dei terreni per l'entità e la natura dei rischi individuati. L'utilizzo di queste zone è generalmente sconsigliabile. Limitatamente alle aree in cui permangono interessi giustificati l'utilizzo è subordinato alla realizzazione di supplementi d'indagine per acquisire una maggiore conoscenza geologico-tecnica, ove necessario mediante campagne geognostiche, prove in situ e di laboratorio, nonché mediante studi tematici di varia natura.

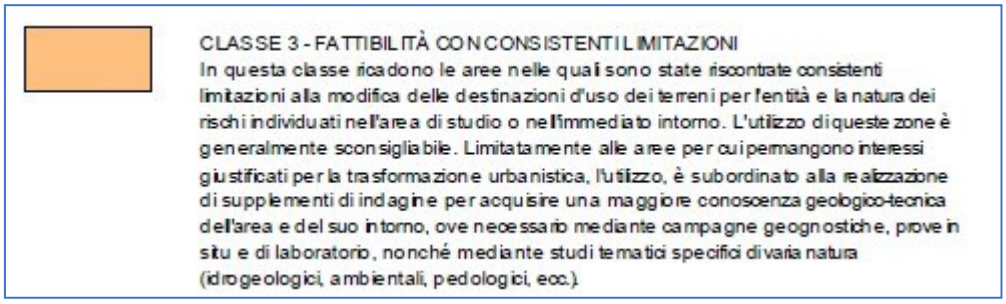

Figura 4.5 PSC Comunale. Carta di fattibilità geologica

Nella carta geologica e geomorfologica allegata al progetto, ed a cui si rimanda per maggiori dettagli, sono rappresentate le informazioni relative agli aspetti stratigrafici ed ai processi evolutivi ritenuti di stretto interesse ai fini progettuali, ed in particolare sono indicate le unità geologiche affioranti con le geo-forme principali.

5. IDROGRAFIA E IDROGEOLOGIA

5.1. Idrografia

Il sedime aeroportuale ricade nella piana di S. Eufemia ove sono riconoscibili i seguenti corsi d'acqua:

- Torrente Bagni: rimane a NW dell'aeroporto; il suo alveo nel tratto occidentale è regimentato da due muraglioni di contenimento di piena per un'ampiezza di circa 55m. Nella stagione secca questo tratto risulta asciutto per versamento diretto nella falda superficiale (alveo disperdente);

- Torrente Cantagalli: interessa il confine settentrionale dell'aeroporto per un tratto di circa 3 km dalla foce, poco prima della quale confluisce nel torrente Bagni. In esso si versano le acque del centro abitato di S. Eufemia. Riceve le acque del canale Manchetta.

- Fiume Amato: si sviluppa ad una distanza di almeno 1,5 Km a sud dell'aeroporto. Si tratta del corso d'acqua principale che origina lo spartiacque dei versanti ionico e tirrenico. Nel tratto in questione è regimato da muraglioni di piena che definiscono un invaso di larghezza pari a circa 200m.

All'interno della piana si riconosce inoltre un reticolo di canali artificiali realizzati nell'ambito delle operazioni di bonifica dei primi anni del 900. Fra questi i principali sono il fosso collettore III° e il collettore Ferroni. In Figura 5.1 un'immagine GIS con l'assetto idraulico principale attorno all'aerostazione.

Figura 5.1 Assetto idraulico principale

5.1. Idrogeologia

Come anticipato nei capitoli precedenti la Piana di Sant'Eufemia, e con essa l'area in studio, è

caratterizzata dalla presenza di una potente coltre di depositi alluvionali recenti a granulometria eterogenea che poggiano su un potente complesso argilloso pliocenico il quale, a sua volta ed a profondità stimate nell'ordine di alcune centinaia di metri, poggia sul substrato roccioso metamorfico.

In tale contesto ed a grande scala si riconoscono due acquiferi principali:

- un acquifero profondo contenuto nel basamento cristallino fratturato, separato ed isolato superiormente dalle argille Plioceniche il cui tetto sembra possa rinvenirsi a profondità variabili e non inferiori a 100m dalla superficie. Di tale acquifero e delle sue interazioni con l'acqua marina si dispone di scarse informazioni; in ogni caso per la sua significativa profondità non assume alcun interesse progettuale;

- un acquifero superficiale contenuto nei depositi alluvionali eterogenei. Per effetto delle caratteristiche dei terreni, che sono costituiti da alternanze irregolari di materiali granulari e fini, tale acquifero costituisce un sistema multifalda dove gli orizzonti più superficiali intrattengono rapporti di scambio idraulico con i torrenti, i canali di bonifica ed il mare, mentre quelli relativamente più profondi posseggono caratteristiche di artesianesimo.

In funzione delle litologie presenti dal punto di vista idrogeologico è possibile distinguere in questa zona tre settori dotati di caratteristiche diverse:

1. zona costiera: sono presenti sabbie marine ed eoliche a basso assortimento granulometrico ed elevata permeabilità primaria. Questo ambito interessa circa la metà occidentale del prolungamento della pista di volo;

2. zona intermedia: l'area della piana che rappresenta la parte orientale della pista nonché il sedime dell'aerostazione è caratterizzata, per una profondità non inferiore ad una decina di metri, da terreni alluvionali limoso sabbioso argillosi a modesta o relativamente modesta permeabilità;

3. zona pedemontana: costituisce la zona delle conoidi dove la presenza di depositi più grossolani assicura una diffusa condizione di elevata permeabilità.

Come anticipato la presenza di intercalazioni granulari e fini all'interno delle alluvioni rende l'acquifero superficiale di tipo multifalda, con possibili effetti artesiani rilevabili negli strati più profondi.

L'acquifero superficiale della Piana di Sant'Eufemia, uno dei più importanti a livello regionale, è alimentato dalle precipitazioni dirette, specie nelle aree a maggiore permeabilità, e dalle infiltrazioni in alveo in corrispondenza dei corsi d'acqua; è possibile che riceva anche contributi in profondità attraverso l'acquifero profondo. La direzione di deflusso della falda è congruente con quella dei corsi d'acqua quindi convergente verso la linea di costa, tendenzialmente da est verso ovest, con gradiente idraulico più elevato lungo la valle del fiume Amato (1,5% - 0,6%) e decisamente più basso nell'area pianeggiante (0,4% - 0,2%). Ai margini dei depositi terrazzati e lungo la valle del Fiume Amato scaturiscono alcune sorgenti indicative del drenaggio della falda contenuta nei depositi più grossolani da parte del corso d'acqua, La falda nel suo insieme è sfruttata mediante pozzi sia superficiali (5-30m) che profondi (80-100m con punte fino a 300m) aventi portata variabile da qualche l/s a, per quelli più profondi, qualche decina di l/s. La qualità dell'acqua prelevata dai pozzi indica l'insorgenza di un deterioramento qualitativo per intrusione salina fino a circa 1 Km dal litorale, conseguenza dei consisti prelievi operati specialmente a scopo irriguo; ad aggravare ciò la captazione di numerose sorgenti che un tempo contribuivano ad alimentare la falda.

Nel corso delle diverse campagne d'indagine eseguite entro e nell'intorno dell'aerostazione sono stati eseguiti sondaggi attrezzati con piezometro. Le misure disponibili hanno evidenziato valori di soggiacenza modesti con livelli di falda mediamente compresi fra 3.2 ÷ 3.60 m dal p.c., con valori minimi esterni alle aree di stretto interesse progettuale (estremità occidentale dell'aerostazione) sino

a 1.80 m dal p.c. Non sono disponibili i risultati di un monitoraggio annuale, per cui non si dispone di indicazioni in merito alla variazione stagionale dei livelli ma si ritiene che, vista la modesta distanza dal mare, tali oscillazioni possano essere modeste.

La permeabilità dei terreni dedotta dalle prove tipo Lefranc condotte nel corso delle diverse campagne d'indagine è, almeno nel sedime aeroportuale e per le profondità di stretto interesse progettuale, da bassa a medio bassa e valutabile attorno ai valori compresi fra 10^{-7} – 10^{-5} m/s in funzione della composizione granulometrica locale.

Nella carta idrogeologica del PSC di Lamezia Terme l'aerostazione rientra nell'Unità idrogeologica 1, costituita da un complesso alluvionale composto da materiali sciolti eterogenei cui viene attribuita una permeabilità media ben superiore a quella rilevata in sito. Dalla stessa tavola e dalla carta dei vincoli si evince che nella piana alluvionale sono presenti pozzi utilizzati a scopo idropotabile. Tali pozzi, come ci si poteva attendere, rimangono ben a monte (almeno 4-5 Km) rispetto all'aerostazione, ovvero laddove il materasso alluvionale in facies di conoide è caratterizzato da permeabilità e granulometrie medie sensibilmente maggiori. Non esiste quindi alcuna possibile interferenza fra i lavori e i campi pozzi esistenti, i quali rimangono idraulicamente ed idrogeologicamente a monte ed a significativa distanza dall'aerostazione.

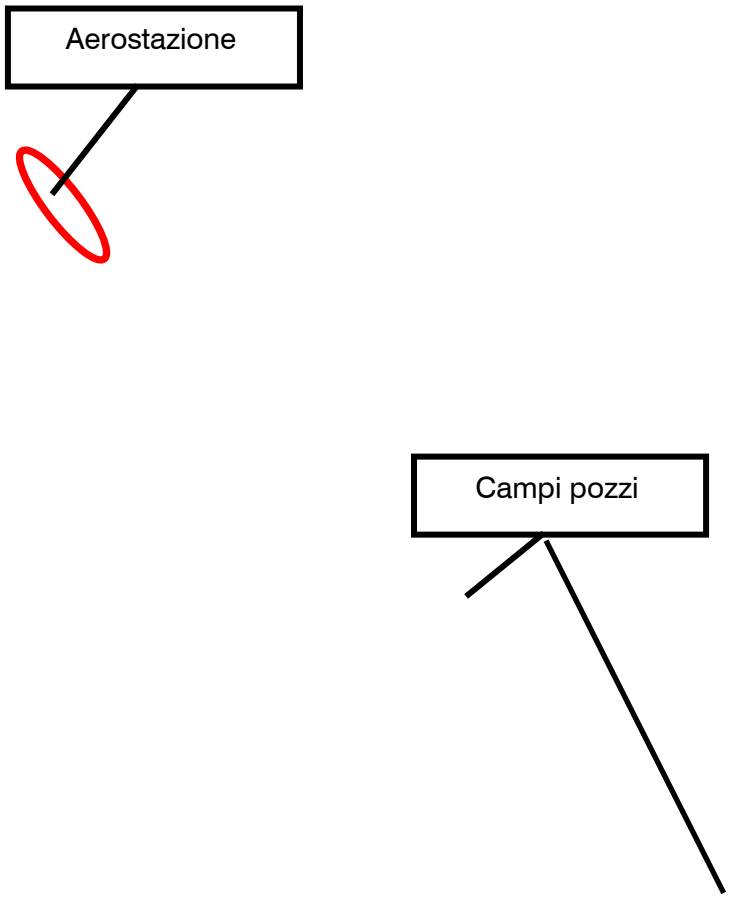

Figura 5.2 Carta dei vincoli del PSC con evidenza dell'aerostazione e dei campi pozzi posti più a monte

6. SISMICA

La sismicità storica che ha interessato il Comune di Lamezia Terme è di grado elevato con indice di rischio superiore al valore medio nazionale. È d'altronde noto come la Calabria rappresenti nella sua quasi totalità una regione ad elevato rischio sismico; basti pensare che a valle della riclassificazione di cui all'OPCM del 20.03.2003, che suddivide l'intero territorio nazionale in quattro zone indicate con i numeri da 1 (maggior rischio) a 4 (minor rischio), su 409 comuni calabresi ben 261 ricadono in zona 1 e 148 in zona 2. In tale ambito il Comune di Lamezia Terme ricade in zona sismica 1, la più alta a livello nazionale, ed è considerato sismico già a partire dal 1909, a valle del distruttivo terremoto di Messina e Reggio Calabria del 1908.

Nel contesto geodinamico regionale il sedime aeroportuale ricade nella "fascia di raccordo" tra i settori settentrionale e meridionale dell'Arco Calabro. Nella vecchia classificazione delle zone sismogenetiche ZS4 tale area, che coincideva geograficamente con la "stretta di Catanzaro", veniva individuata come zona a sé stante (ZS68) caratterizzata da meccanismi trascorrenti legati alla nota faglia di Catanzaro.

La sismicità storica mostra numerosi eventi con elevati valori di danneggiamento, in maniera particolare per gli eventi del 28 marzo 1783 e dell'8 settembre 1905. La sismicità più recente si è mantenuta su livelli energetici moderati. I dati strumentali hanno consentito di verificare che la distribuzione delle profondità ipocentrali ha una concentrazione tra i 10 e i 15 Km circa, ma che sussistono rilasci energetici fino a 40-50 km, indicativi di una notevole profondità della dislocazione che favorisce lo svincolo regionale tra nord e sud dell'Arco Calabro. In superficie tali meccanismi si manifestano come un sistema complesso di faglie minori, ad andamento verticale e obliquo, che si localizzano sul bordo settentrionale della stretta di Catanzaro, con faglie ad orientamento da E-W a SW-NE con disposizione enchelon sinistro. I movimenti di queste dislocazioni sono stati accertati, oltre che al Pleistocene, anche in età olocenica, in quanto dislocano i terrazzi fluviali di tale età.

Il rischio sismico del territorio calabrese può essere apprezzato anche semplicemente dall'osservazione delle numerose faglie attive censite sul territorio e rappresentate schematicamente in Figura 6.1.

Con la Mappa di Pericolosità Sismica prevista dall'Ordinanza PCM 3274 del 20.03.2003 viene elaborata una nuova zonazione sismogenetica, denominata ZS9, comprendente 42 zone sorgente (ZS) identificate da un numero (da 901 a 936) o da una lettera (da A ad F), ciascuna delle quali corredata da un meccanismo focale prevalente e da una profondità. In quest'ottica il territorio comunale di Lamezia Terme ricade nella ZS 929 "Calabria tirrenica" i cui limiti sono riportati in Figura 6.2. All'interno della ZS 929 la profondità efficace, intesa come quella profondità all'interno della quale avviene il maggior numero di terremoti che determina la pericolosità della zona, rientra nella classe 8 – 12 Km; il meccanismo prevalente è per faglia normale. La magnitudo massima prevista è Mw = 7,29. In tale contesto è opportuno chiarire che, per effetto delle distribuzioni degli eventi, le assunzioni adottate per l'individuazione delle magnitudo nella ZS 929 sono da considerarsi particolarmente cautelative (riferimento: pagina 46 del rapporto conclusivo allegato alla Mappa di Pericolosità Sismica).

Figura 6.1 Carta delle faglie attive della Calabria (fonte INGV)

Figura 6.2. Delimitazione delle ZS nell'ambito della ZS9 nel sud Italia

Dal sito dell'INGV per il comune di Lamezia Terme sono riportati n 20 records di sismi i cui epicentri sono prevalentemente collocati all'interno del territorio regionale, ed aventi intensità massima epicentrale ed al sito di 11 e magnitudo momento Mw di 7,1 (terremoto del 1908) confermando con ciò l'elevata pericolosità sismica potenziale.

Con una ricerca più accurata nell'arco di 30 Km attorno a Lamezia sono stati registrati 23 terremoti di magnitudo compresa fra 4,6 – 7.

Figura 6.3 Storia sismica di Lamezia Terme (fonte: INGV)

In Figura 6.4 si riportano i valori di pericolosità sismica secondo l'OPCM 3519 del 28 aprile 2006, All. 1b, nell'area in studio. Nella mappa sono riportati i valori medi (con deviazione standard) corrispondenti ad una probabilità di superamento del 10% in 50 anni (periodo di ritorno di 475 anni) della PGA (acronimo di Peak Ground Acceleration, ovvero accelerazione massima al suolo). Dalla stessa figura si evince una PGA compresa nel range 0.250 – 0.275. Dal grafico di disaggregazione si ottiene una magnitudo massima locale di 5,98 per una distanza di 8,6 Km.

Valori Medi		
Magnitudo	Distanza	Epsilon
5.98	8.6	0.819

Figura 6.4 Valori di pericolosità sismica (OPCM del 28 aprile 2006 n. 3519, All. 1b) espressi in termini di accelerazione massima del suolo con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni riferita a suoli rigidi (Vs30>800 m/s, suolo di categoria A).

Secondo le Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC 2018) di cui al Decreto del 17/01/2018, pubblicate sulla Gazzetta Ufficiale n° 42 del 20/02/2018, le azioni sismiche debbono essere determinate in relazione al periodo di riferimento VR, che si ricava moltiplicando la vita nominale VN per il coefficiente d'uso CU, a sua volta funzione della classe d'uso come da tabella 2.4.II delle N.T.

VR = VN* CU

La vita nominale di una costruzione VN è intesa come il numero di anni nel quale la struttura, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve potere essere usata per lo scopo alla quale è destinata. La vita nominale dei diversi tipi di opere è quella riportata nella Tab. 2.4.1 dell'Allegato A delle NTC 2018 (Tabella 6.1) e deve essere precisata nei documenti di progetto.

Tabella 6.1 Vita Nominale VN per diversi tipi di opere da NTC 2008

Il coefficiente d'uso Cu, riportato in Tabella 6.2, esprime la Classe d'uso nella quale sono suddivise le opere con riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un eventuale collasso. In presenza di Azioni Sismiche le costruzioni sono suddivise in quattro classi d'uso la cui definizione è di seguito sinteticamente riportata:

- Classe I: Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli;
- Classe II: Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, industrie con attività non pericolose per l'ambiente, ponti e reti viarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza, dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti;
- Classe III: Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi, industrie con attività pericolose per l'ambiente, ponti e reti viarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza, dighe il cui collasso provochi conseguenze rilevanti;
- Classe IV: Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente, reti viarie di tipo A o B (come definite nel D.M. 5 novembre 2001 n.6792) importanti per il mantenimento delle vie di comunicazione, dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica.

Tab. 2.4.II – *Valori del coefficiente d'uso C_U*

CLASSE D'USO	I	II	III	IV
COEFFICIENTE C_U	0,7	1,0	1,5	2,0

Tabella 6.2 Parametri per il calcolo del coefficiente d'uso da NTC 2008

Nel caso in argomento e come già adottato per altri precedenti stralci progettuali nell'ambito della stessa aerostazione si è assunto:

VN ≥ 100 anni (grande opera);

Opera con funzioni pubbliche e strategiche importanti per una classe d'uso IV cui corrisponde un valore di CU pari a 2.

Ne consegue il seguente periodo di riferimento:

VR = 100 x 2 = 200 anni

Per quanto riguarda le probabilità PVR di superamento nel periodo di riferimento VR, esse variano al variare dello stato limite considerato. In particolare, i valori cui riferirsi per individuare l'azione sismica sono riportati in Tabella 6.3.

STATO LIMITE		P_{VR} - Probabilità di superamento nel periodo di riferimento V_R
Stati Limite di Esercizio	SLO	81%
	SLD	63%
Stati Limite Ultimi	SLV	10%
	SLC	5%

Tabella 6.3 Probabilità di superamento PVR al variare dello stato limite considerato da NTC 2008

Dove:

SLO = Stato Limite di Operatività: a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, non deve subire danni ed interruzioni d'uso significativi;

SLD = Stato Limite di Danno: a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, subisce danni tali da non mettere a rischio gli utenti e da non compromettere significativamente la capacità di resistenza e di rigidezza nei confronti delle azioni verticali ed orizzontali, mantenendosi immediatamente utilizzabile pur nell'interruzione d'uso di parte delle apparecchiature.

SLV = Stato Limite di Salvaguardia della Vita: a seguito del terremoto la costruzione subisce rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e significativi danni dei componenti strutturali cui si associa una perdita significativa di rigidezza nei confronti delle azioni orizzontali; la costruzione conserva invece una parte di resistenza e rigidezza per azioni verticali e un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontali;

SLC = Stato Limite di prevenzione del Collasso: a seguito del terremoto la costruzione subisce gravi rotture e crolli nei componenti non strutturali ed impiantistici e danni molto gravi dei componenti strutturali; la costruzione conserva ancora un margine di sicurezza per azioni verticali ed un esiguo margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni orizzontali.

Fissato il periodo di riferimento VR e la probabilità di superamento PVR il periodo di ritorno TR si ricava mediante l'espressione:

$$T_R = -\frac{V_R}{\ln(1 - P_{VR})}$$

Le forme spettrali sono definite, per ciascuna delle probabilità di superamento nel periodo di riferimento PVR, a partire dai valori dei seguenti parametri su sito di riferimento rigido orizzontale:

ag = accelerazione orizzontale massima al sito;

F0 = valore massimo di fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;

TC* = periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

I parametri ag, F0, e TC* per i periodi di ritorno TR associati a ciascun SL, che definiscono lo spettro di risposta elastico di riferimento in accelerazione Se(T) dai quali viene poi ricavato lo spettro di progetto Sd(T) sono stati dedotti mediante l'app "Parametri sismici" di Geostru (Figura 6.5) sulla base delle seguenti coordinate riferite al sedime di progetto:

Latitudine: 38,9091; Longitudine: 16,2428.

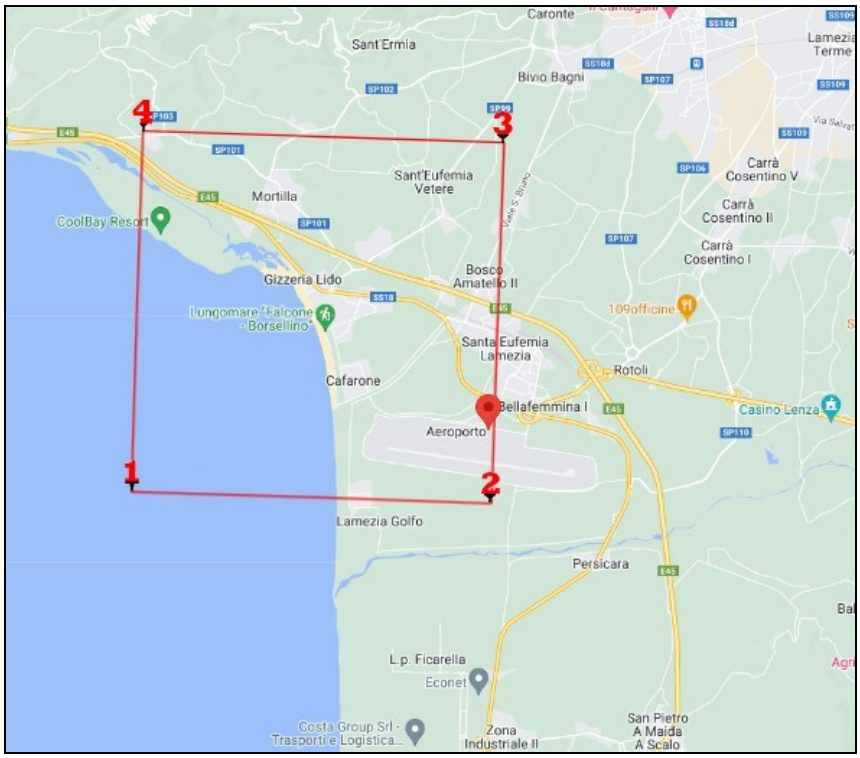

Figura 6.5 Schermata dell'app "parametri sismici" centrata sul sedime di progetto

Per il sito di progetto i parametri spettrali sono i seguenti:

Stati limite

Classe Edificio

IV. Funzioni pubbliche o strategiche importanti...

Vita Nominale 100

Interpolazione Media ponderata

CU = 2

Stato Limite	Tr [anni]	a_g [g]	Fo	Tc* [s]
Operatività (SLO)	120	0.141	2.339	0.329
Danno (SLD)	201	0.180	2.372	0.344
Salvaguardia vita (SLV)	1898	0.453	2.505	0.429
Prevenzione collasso (SLC)	2475	0.500	2.518	0.443
Periodo di riferimento per l'azione sismica:	200			

Tabella 6.4. Parametri spettrali del sito di progetto per i diversi stati limite.

Un ulteriore elemento di valutazione è rappresentato dall'effetto locale prodotto dal contesto geologico-geomorfologico che caratterizza l'area in studio. Ciò significa valutare le differenze di intensità massima dovute a differenti situazioni geologiche e morfologiche attraverso procedure il cui insieme costituisce la "risposta sismica locale". L'esame della distribuzione dei danni prodotti da un terremoto nello stesso territorio dimostra infatti che le azioni sismiche possono assumere, anche a distanze di poche decine di metri, caratteristiche differenti in funzione delle modifiche all'onda sismica

apportate dalle condizioni sito specifiche.

Si denomina quindi come risposta sismica locale l'azione sismica emergente "in superficie" a seguito delle modifiche in ampiezza, durata e contenuto in frequenza subite trasmettendosi dal substrato rigido e riconducibili principalmente a:

- effetti stratigrafici legati alla successione stratigrafica, alle proprietà meccaniche dei terreni, alla geometria del contatto tra il substrato rigido e i terreni sovrastanti ed alla geometria dei contatti tra gli strati;

- effetti topografici legati alla configurazione topografica del piano campagna alla quale in alcuni casi (prossimità della cresta dei rilievi), va attribuita la focalizzazione delle onde sismiche a seguito dei fenomeni di riflessione delle onde sismiche; i fenomeni di amplificazione cresta-base aumentano in proporzione al rapporto tra l'altezza del rilievo e la sua larghezza.

L'effetto della risposta sismica locale correlabile con l'effetto stratigrafico viene valutato attraverso specifiche analisi da eseguire con le modalità indicate al capitolo 7.11.3 delle NTC 2018. In alternativa qualora le condizioni stratigrafiche e le proprietà dei terreni siano chiaramente riconducibili alle categorie definite dalla tabella 3.2.III delle NTC 2018, riportata in Figura 6.5, è possibile fare riferimento ad un approccio semplificato che si basa sulla classificazione del sottosuolo in funzione della velocità di propagazione delle onde di taglio Vs.

La classificazione del sottosuolo di cui alla tabella 3.2.II si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori di velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio Vs eq come definita dall'espressione:

$$V_{S,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^{N} \frac{h_i}{V_{S,i}}}$$

(3.2.1 delle NTC 2018)

Con:

hi = spessore strato i-esimo;

Vs,i = velocità onde di taglio strato i-esimo;

N = numero strati;

H = profondità bedrock caratterizzato da Vs non inferiore a 800 m/s

Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, come nel caso in studio, la velocità equivalente delle onde di taglio Vs,eq è definita dal parametro Vs30 ottenuto ponendo H = 30.

Tab. 3.2.II – *Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato.*

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
A	*Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi* caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.
B	*Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti*, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.
C	*Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti* con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.
D	*Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti*, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.
E	*Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D*, con profondità del substrato non superiore a 30 m.

Tabella 6.5 Categorie di sottosuolo per l'approccio semplificato alle NTC 2018

Nell'ambito del sedime di progetto e come suggerito dalla norma i valori di Vs sono ricavati da specifiche prove tipo Masw effettuate in sito durante diverse fasi progettuali relative allo sviluppo dell'aerostazione, che hanno fornito risultati fra loro ben coerenti con valori medi di Vs30 compresi fra 200-300 m/s, in assenza di un bedrock sismico (Vs >800 m/s) che portano a classificare i terreni in una categoria di sottosuolo tipo C: *"Depositi a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti con profondità del substrato superiore a 30 m caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s"*.

Per quanto attiene gli effetti topografici è possibile fare riferimento alla tabella 3.2.IV delle NTC 2018 riprodotta in Tabella 6.6.

Categorie topografiche

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media i ≤ 15°
T2	Pendii con inclinazione media i > 15°
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media 15° ≤ i ≤ 30°
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media i > 30°

Tabella 6.6 Categorie topografiche

Poiché l'intervento in progetto s'inserisce in un contesto francamente pianeggiante si è considerata una categoria topografica tipo T1 cui corrisponde un Coefficiente di amplificazione topografica (ST) pari a ST = 1,00 come da Tabella 6.7.

Valori massimi del coefficiente di amplificazione topografica S_T

Categoria topografica	Ubicazione dell'opera o dell'intervento	S_T
T1	————	1,0
T2	In corrispondenza della sommità del pendio	1,2
T3	In corrispondenza della cresta del rilievo	1,2
T4	In corrispondenza della cresta del rilievo	1,4

Tabella 6.7 Valori del coefficiente di amplificazione topografica

6.1. Faglie capaci e sismogenetiche

Dal catalogo Ithaca delle faglie capaci si evince come l'area in studio sia attorniata da diversi records, fra i quali i più vicini risultano essere le faglie di Zinnavo e di Nicastro a nord, e la faglia di Maida a sud est.

La faglia di Zinnavo ha codice 35208, una lunghezza di 2,8 Km, cinematismo normale con immersione verso sud e la sua capacità di generare fagliazione superficiale è suffragata dal fatto che disloca depositi pleistocenici ed olocenici.

La faglia di Nicastro ha codice 35800, una lunghezza di 8,3 Km, cinematismo normale con immersione verso nord est e disloca depositi pleistocenici ed olocenici.

La faglia di Maida ha codice 35830, una lunghezza di 5,5 Km, cinematismo obliquo sinistro con immersione verso sud e disloca depositi pleistocenici ed olocenici.

Figura 6.6 Ithaca catalogo delle faglie capaci.

Dal catalogo DISS delle faglie sismogenetiche si rileva la presenza di una sorgente sismogenetica composita denominata “Sant’Eufemia”, codice ITIS 139 che, con una direzione NE-SW, è circa parallela alla costa ed alla catena calabra. Comprende strutture con una lunghezza di circa 25 Km e profondità variabile da 0,5-12 Km per una magnitudo massima di Mw = 7,1. A questa sorgente è riconducibile l’evento sismico del 09/1905.

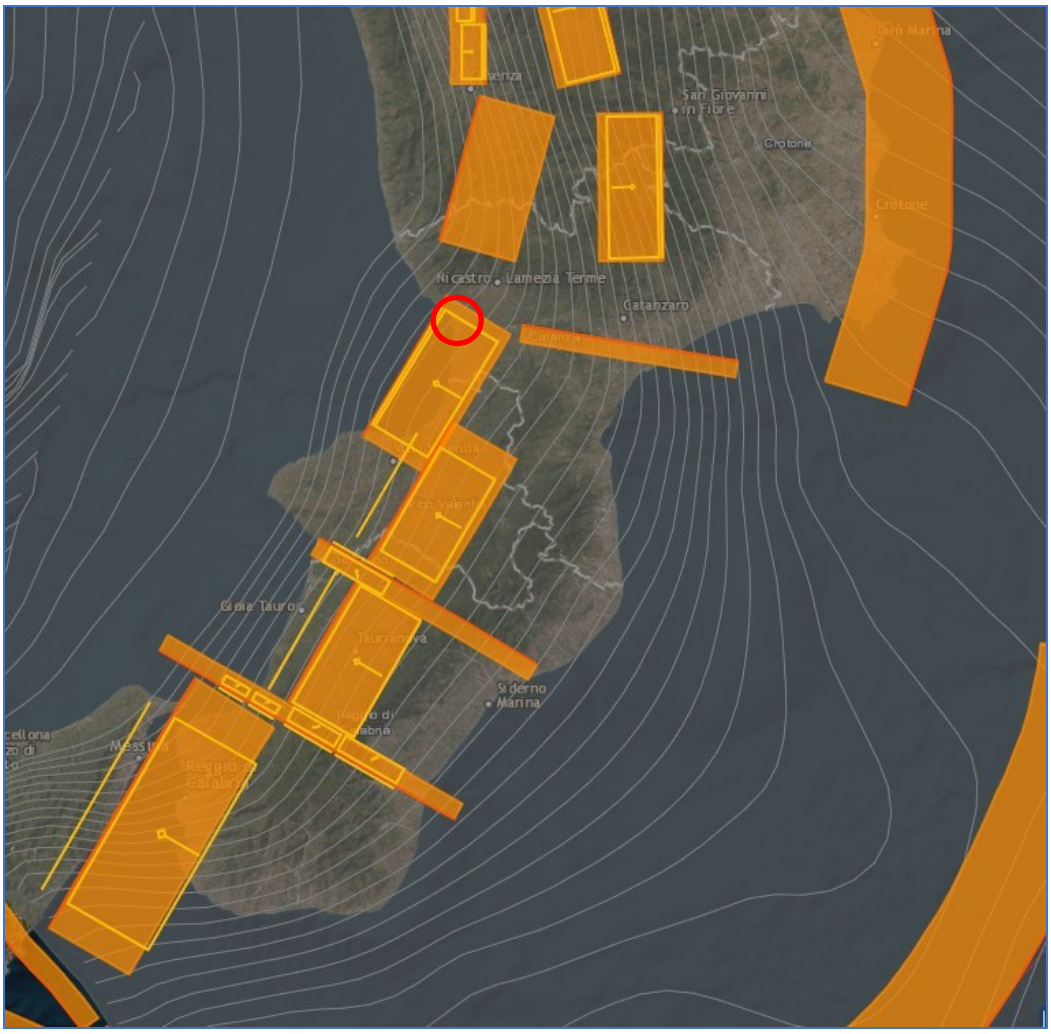

Figura 6.7 Catalogo DISS delle faglie sismogenetiche

6.2. Liquefazione dei terreni

La presenza di terreni sabbiosi in falda richiede alcuni commenti circa la possibilità o meno di sviluppo di fenomeni di liquefazione durante l’attività sismica. La liquefazione denota una diminuzione di resistenza a taglio e/o rigidezza causata dall’aumento di pressione interstiziale in un terreno saturo non coesivo, durante lo scuotimento sismico, tale da generare deformazioni permanenti significative o persino l’annullamento degli sforzi efficaci nel terreno.

Vale la pena evidenziare che laddove sono presenti i caratteri predisponenti non è detto che si possano realizzare le condizioni di cause scatenanti; ovvero un terreno sabbioso può avere tutti i requisiti granulometrici e di addensamento per liquefarsi, ma nell’area può non verificarsi mai un sisma con energia sufficiente. Viceversa, possono esserci le energie sufficienti ma le caratteristiche granulometriche dei litotipi possono essere tali da non essere suscettibili di liquefazione.

L'Aggiornamento delle Norme Tecniche per le costruzioni di cui al DM 17/02/2018 indica al punto 7.11.3.4.2 che le verifiche alla liquefazione per le opere possono essere omesse qualora si manifesti almeno una delle seguenti circostanze:

1. accelerazioni massime attese al piano campagna in condizioni di campo libero inferiori a 0.1g;

2. profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna suborizzontale e per strutture con fondazioni superficiali;

3. depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata (N1)60 > 30, dove (N1)60 è il valore della resistenza determinata attraverso le prove SPT, normalizzata ad una tensione efficace di 100 kPa;

4. distribuzione granulometrica esterna all'ambito dei fusi forniti nella Figura 6.8 nel caso di terreni con coefficiente di uniformità Uc < 3.5 ed in Figura 6.9 nel caso di terreni con coefficiente di uniformità Uc > 3.5;

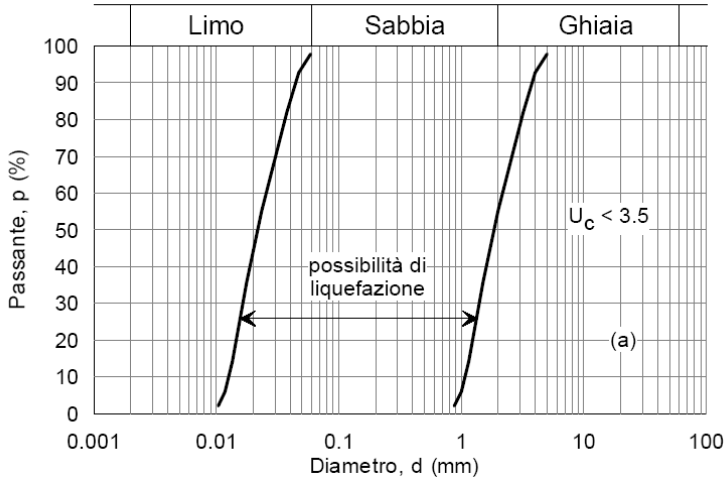

Figura 6.8 – Fusi granulometrici di terreni suscettibili da liquefazione Uc < 3.5

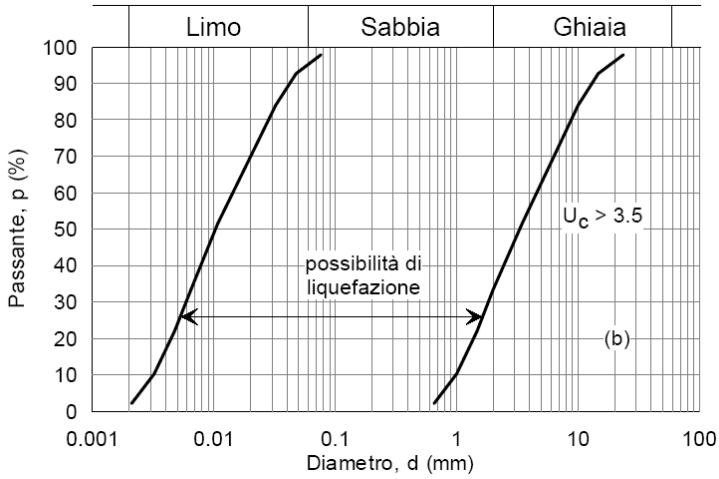

Figura 6.9 – Fusi granulometrici di terreni suscettibili da liquefazione Uc > 3.5

Con riferimento al punto (1) la pericolosità sismica del territorio comunale si traduce in valori di ag attesi a piano campagna, in condizioni di campo libero, ben superiori a 0.1g.

Con riferimento al punto (2) la falda si pone a modesta profondità per cui non è motivo di esclusione per i terreni al di sotto di tale quota.

Con riferimento al punto (3) i terreni mostrano valori di resistenza alla punta ben inferiori a 30 colpi negli strati superficiali almeno sino alla profondità media di 10-12 m da p.c., e valori talvolta superiori e talvolta inferiori a 30 colpi al di sotto di tali profondità.

Infine, in merito al punto (4) le analisi granulometriche condotte sui terreni presenti nel corso delle diverse campagne geognostiche eseguite rientrano spesso nei fusi indicati.

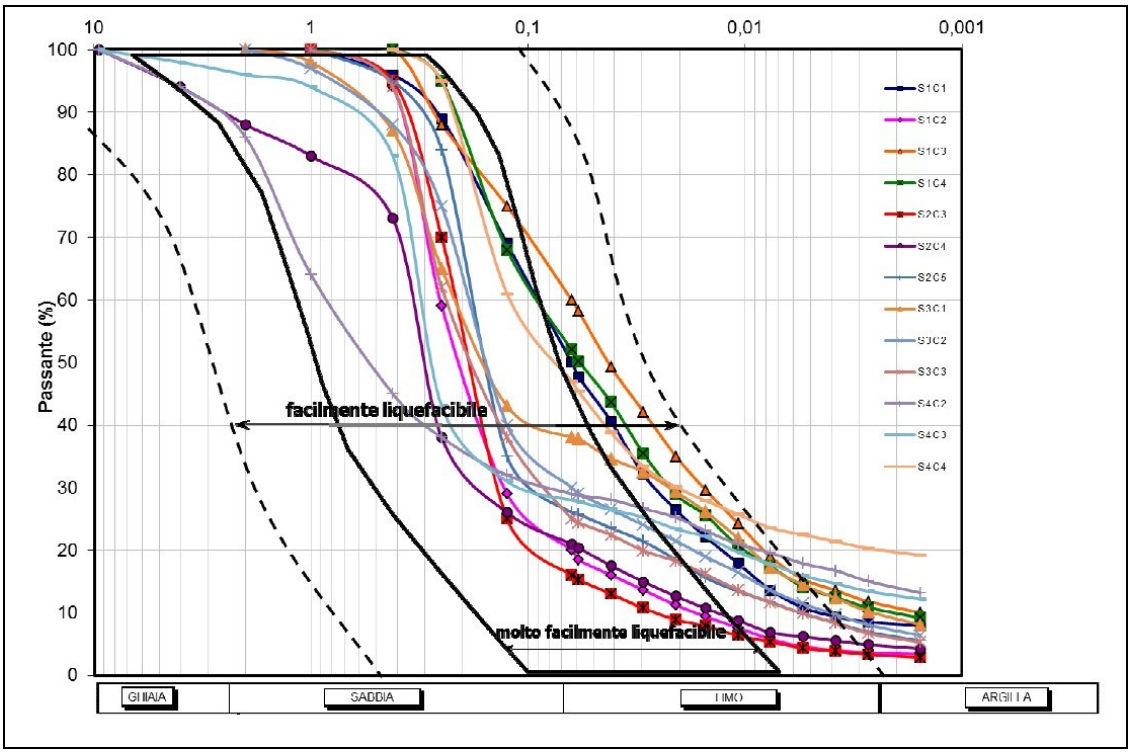

Figura 6.10 Analisi granulometriche dei terreni rispetto ai fusi

Per quanto esposto, considerate anche le caratteristiche geotecniche dei terreni e le severe azioni sismiche locali, si ritiene possibile l'insorgere di fenomeni di liquefazione a carico dei terreni in fondazione.

Specifici approfondimenti in merito sono stati svolti sulla base dei risultati delle indagini sito specifiche; per maggiori dettagli in merito si rimanda ai contenuti della relazione geotecnica.

7. INDAGINI GEOGNOSTICHE

Il presente progetto è supportato sia da indagini geognostiche pregresse messe a disposizione direttamente dalla stazione appaltante, sia da una specifica campagna geognostica svolta nei primi mesi del 2024, in sede di progettazione definitiva, sulla base di un piano predisposto dal progettista e tarato sulla base del quadro informativo e delle criticità evidenziate nelle fasi precedenti.

Nei paragrafi seguenti sono riepilogati i risultati delle indagini, per le cui ubicazioni e per i relativi certificati si rimanda alla specifica documentazione allegata al progetto e relativa a:

- Planimetria ubicazione indagini;
- Risultati indagini pregresse;
- Risultati indagini eseguite.

7.1. Indagini geognostiche pregresse

In corrispondenza del sedime aeroportuale sono disponibili indagini geognostiche pregresse svolte per altri e precedenti interventi progettuali messe a disposizione direttamente dalla committenza.

Con riferimento alle tipologie di opere ed alle aree di stretto interesse progettuale si tratta in particolare di:

- Indagini anno 2005 ditta ICEI per verifica strutturale aerostazione e torre serbatoio;
- Indagini anno 2012 ditta Geoconsol per il progetto esecutivo della Nuova aerostazione, I lotto;
- Indagini anno 2023 ditta C.I.G.I.T. per il progetto esecutivo di una nuova struttura polifunzionale -nuovo corpo avanzato - lato air side;
- Indagini anno 2023 ditta C.I.G.I.T. per la riqualifica della viabilità di accesso.

La planimetria seguente riporta l'ubicazione delle indagini del 2005 ditta ICEI, del 2012 ditta Geoconsol e 2023 ditta C.I.G.I.T., mentre nei paragrafi seguenti vengono commentati i relativi risultati.

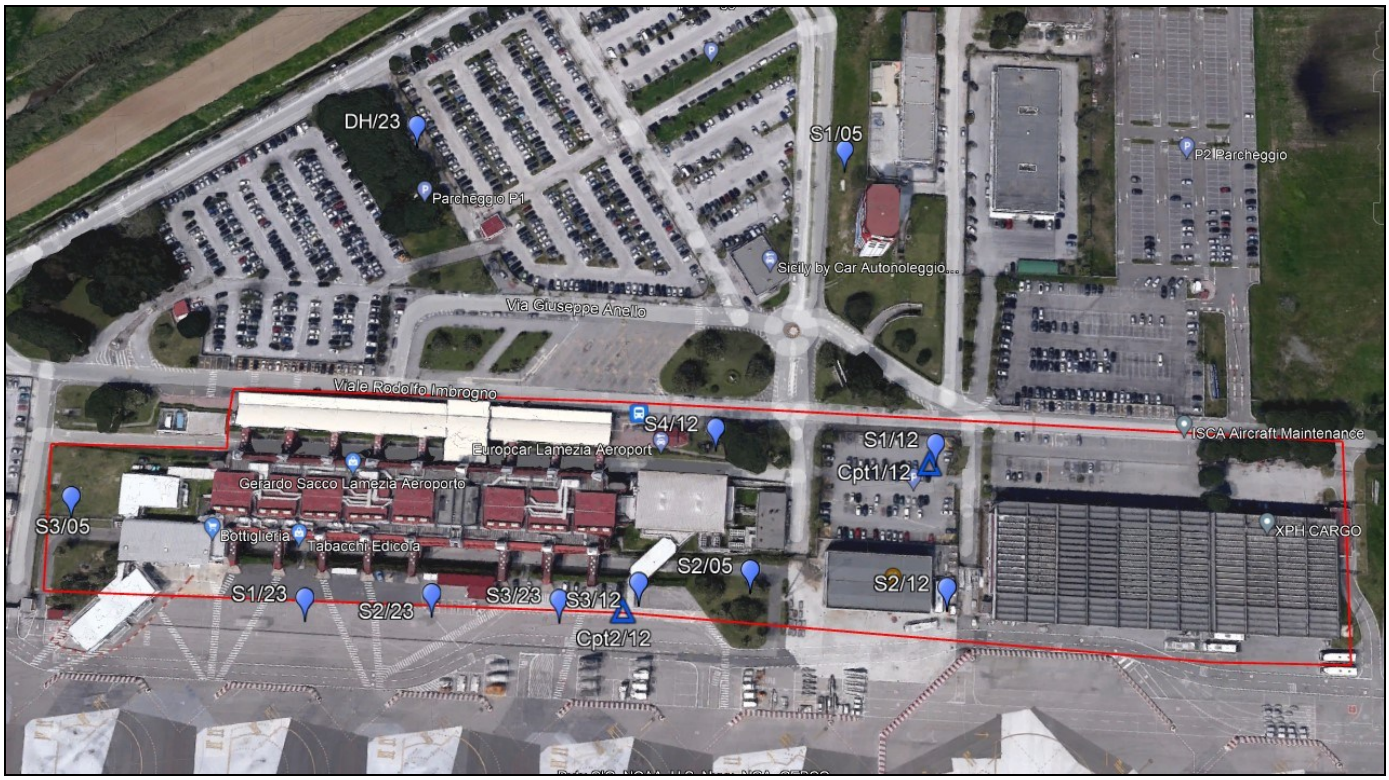

Figura 7.1 Planimetria ubicazione indagini pregresse. S= sondaggi. Cpt= prove penetrometriche continue

7.1.1. Indagini anno 2005 ditta ICEI

Trattasi di n° 3 sondaggi a carotaggio continuo denominati S1/05, S2-05 ed S3/05 profondi 40 m ed attrezzati con piezometro, e n° 2 traverse sismiche di lunghezza rispettivamente 80m e 60m denominate A-A' e B-B', eseguite nell'ambito del progetto di verifica strutturale dell'aerostazione e torre serbatoio.

I sondaggi, tolto l'S1 che insieme alla traversa sismica A-A' si trova poco a nord del torrino piezometrico e del viale Imbrogno che delimita sul lato settentrionale l'aerostazione, ricadono rispettivamente sul lato est (S2) ed ovest (S3) dell'attuale aerostazione; accanto al sondaggio S3 è stata eseguita la traversa simica B-B'.

Le stratigrafie, i cui dettagli non sono disponibili come anche le prove di laboratorio, dalle notizie acquisite indicano genericamente la presenza di terreni costituiti da sabbie, sabbie limose e ghiaie alternate a limi argillosi.

La falda è sempre superficiale ed è stata rinvenuta alle seguenti profondità:

- Sondaggio S1: 2,9 m da p.c.;
- Sondaggio S2: 4,4 m da p.c.;
- Sondaggio S3: 3,6 m da p.c.

I risultati delle traverse sismiche sono, per lo stendimento A-A' posto a nord dell'aerostazione:

- Strato A superficiale compreso fra p.c. e 1,4-3,5 m da p.c.: Vp medio = 411 m/s interpretabile come materiale di riporto e/o un orizzonte superficiale particolarmente sciolto ed allentato;

- Strato B intermedio compreso fra 1,4-3,5 m e 9,4-12,7 m da p.c.: Vp medio = 717 m/s interpretabile come un deposito alluvionale prevalentemente limoso argilloso o limoso sabbioso poco consistente;

- Strato C profondo oltre 9,4-12,7 m da p.c.: Vp medio = 1153 m/s interpretabile come un deposito alluvionale sabbioso limoso discretamente addensato.

Per lo stendimento B-B' ubicato sul limite occidentale dell'aerostazione:

- Strato A superficiale compreso fra p.c. e 2,0-2,7 m da p.c.: Vp medio = 329 m/s interpretabile come materiale di riporto e/o un orizzonte superficiale particolarmente sciolto ed allentato;

- Strato B profondo oltre 2,0-3,5 m da p.c.: Vp medio = 942 m/s interpretabile come un deposito alluvionale prevalentemente limoso sabbioso mediamente addensato.

7.1.2. Indagini anno 2012 ditta Geoconsol

Posizionate poco ad ovest dell'aerostazione merci, quindi fra l'aerostazione esistente ed il nuovo terminal partenze, costituiscono una importante fonte documentale sia dal punto di vista quantitativo che qualitativo. La campagna in argomento, eseguita nell'ambito del progetto esecutivo della nuova aerostazione, I lotto funzionale, comprende:

- n° 4 sondaggi a carotaggio continuo profondi 40-55 m con prove in sito e di laboratorio, di cui n° 2 attrezzati con piezometro e n° 2 per prove down hole;

- n° 2 prove penetrometriche statiche continue con punta elettrica;

- n° 5 Masw per la determinazione della categoria di suolo di fondazione, n° 1 prova HVSR e n° 1 stendimento in sismica a rifrazione.

In Figura 7.2 l'ubicazione delle indagini del 2012 così come risulta dalla documentazione progettuale.

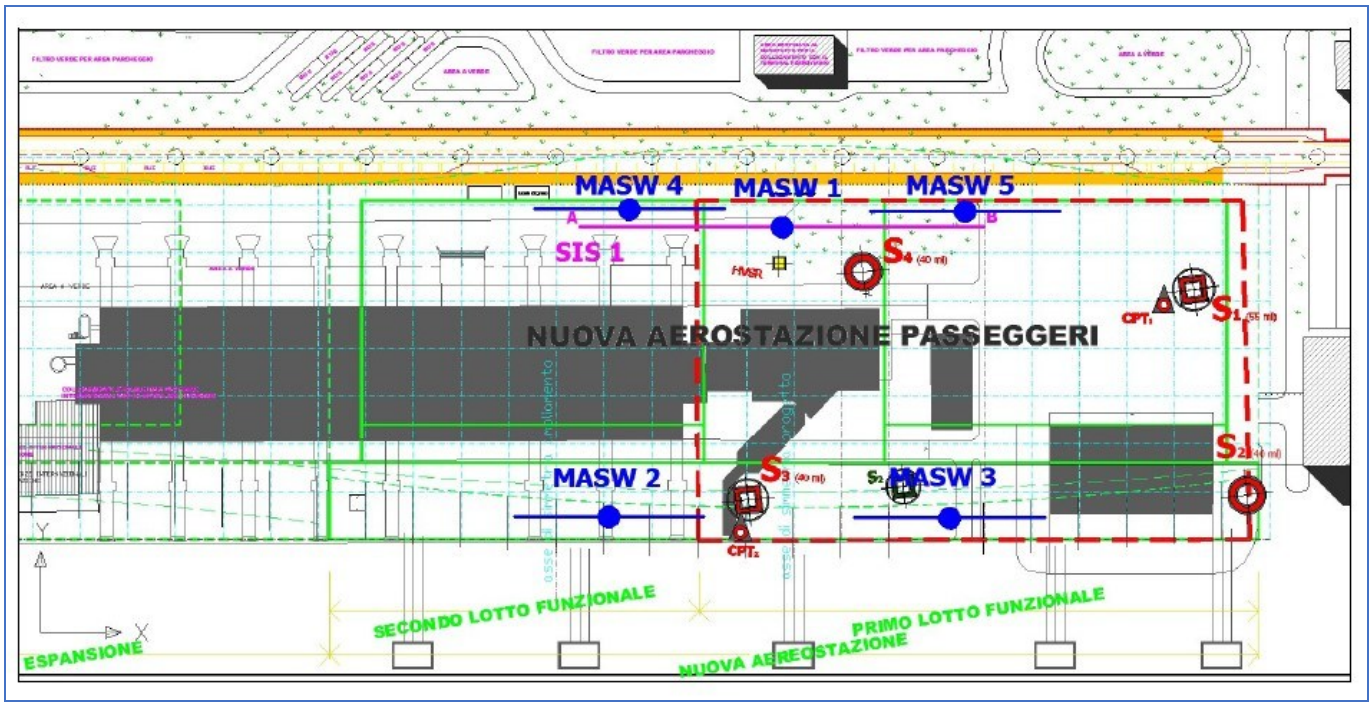

Figura 7.2 Ubicazione indagini anno2012 (fonte: Relazione geologica di progetto Esecutivo)

I sondaggi rilevano un orizzonte di materiale di riporto potente 1-3 m cui fa seguito un'unità irregolare descritta come limoso argillosa variamente sabbiosa, o sabbioso limosa, spesso con intercalazioni torbose o comunque ricca in sostanza organica, poco compatta e compressibile, che si spinge mediamente sino a circa 10-13 m da p.c. Fanno seguito sabbie fini e sabbie limose a tratti con ghiaia ben addensate. Localmente sono presenti orizzonti sabbioso ghiaiosi dello spessore di 1-5m, uno dei quali si rileva con discreta continuità attorno alla profondità di 27 m circa.

Tolta una crosta superficiale essiccata di spessore 2-3 m i valori di pocket penetrometer acquisiti dalle carote sono generalmente bassi e compresi fra 0,4-1 kg/cmq nei primi 10-12 m di profondità, e salgono mediamente fra 1-2,5 Kg/cmq, tendenzialmente crescenti verso il basso, da 10-12 m sino a fine perforazione.

Dalla documentazione geognostica di accompagno si evincono livelli di falda compresi fra 2,9-4,4 m da p.c.

Nel corso di ogni sondaggio sono stati prelevati 3-4 campioni indisturbati, e nel sondaggio S1 anche due campioni rimaneggiati. Non tutti i campioni sono stati sottoposti ad analisi di laboratorio.

Nel corso delle perforazioni sono state condotte n° 29 prove in sito tipo SPT e n° 4 di permeabilità tipo Lefranc.

La tabella seguente riepiloga sinteticamente quantità, caratteristiche e risultati dei sondaggi del 2012.

Sondaggio	Profondità (m)	Condizionam.	SPT	Lefranc	Campioni	Stratigrafia	Falda
S1	55	Piezometro	10	0	4i+2r	Da 0-1m riporto Da 1 a 9,6 m Limi argillosi con sostanza organica. Da 9,6 a 15,3 sabbie e ghiaie con qualche ciottolo. A seguire sabbie e sabbie fini limose con intercalazione di sabbia e ghiaia specie	2,9
S2	40	Down-Hole	6	1	4i	Da 0-5 m riporto e ghiaie. Da 5 m a 8,5 m limi argillosi con sostanza organica. A seguire sabbie e sabbie fini limose	4,4
S3	40	Piezometro	7	1	3i	Da 0-3 m riporto . Da 3 m a 12,4 m sabbie fini con frequenti inclusioni organogene. Intercalazioni di argilla limosa con torba fra 4,9-5,9m e 11,1-12,4m. A seguire sabbie e sabbie fini limose con intercalazione di sabbia e ghiaia	3,6
S4	40	Down-Hole	6	2	4i	Da 0-3,1 m riporto . Da 3 m a 13,5 m sabbie talora ghiaiose con intercalazioni di argilla limosa con torba al tetto ed al letto. A seguire sabbie e sabbie fini limose con intercalazione di ghiaia e sabbia	-

Tabella 7.1 Sondaggi campagna 2012

Le prove Lefranc non sono sempre molto indicative perché in almeno la metà dei casi sono state condotte in corrispondenza di materiale di riporto, in un caso su una intercalazione ghiaiosa molto permeabile, e solo in un caso in sabbie limose. In quest'ultimi terreni la permeabilità è di 10^{-6} m/s, un valore in linea con la litologia, mentre nel riporto è di circa 10^{-5} m/s.

Sondaggio	Profondità	Litologia	Permeabilità (m/s)
S2	4,0-4,5	Ghiaie	>2,5 l/s
S3	2,6-3,5	Riporto e limo sabbioso	1,6 10-5
S4	1,5-3,0	Riporto	5,1 10-6
S4	7,5-8,5	Sabbie limose	8,7 10-6

Figura 7.3 Campagna anno 2012. Prove Lefranc

Dalle prove SPT e con l'eccezione del sondaggio S4 i terreni risultano da poco a mediamente addensati negli strati superficiali sino a 10 m da p.c., e ben addensati più in profondità.

Sondaggio	Profondità	Litologia	SPT	Sondaggio	Profondità	Litologia	SPT
S1	4	LA	13	S3	6,4	SL	14
	7	LA	5		12	SL	41
	13	SL	23		14,5	SL	51
	14,5	SL	25		20,5	SL	38
	21	SL	29		25	SL	35
	24	SL	34		35	SL	36
	31,8	SL	45	S4	4,5	SL	22
	36,5	SL	52		10	SL	28
	41,8	SL	44		15,25	SL	30
	48,4	SL	34		18,6	SL	28
S2	4,5	R	15		24	SL	37
	11,5	SL	44		30	SL	
	15	SL	67		30,45	SL	29
	30	SL	41				
	33	SL	48				
	37,6	SL	62				

Tabella 7.2 Campagna anno 2012. Prove SPT

Prove di laboratorio geotecnico sono state condotte su buona parte dei campioni indisturbati o a disturbo limitato prelevati. I risultati, riepilogati in tabella, evidenziano una prevalenza di terreni classificabili come sabbie limose debolmente argillose (sabbia 40-80%, limo 10-50%, argilla 5-20%), raramente sabbie ghiaiose con limo. Il contenuto d'acqua è normalmente attorno al 20-25% per un grado di saturazione del 90% sino al 99%. Il peso di volume è tendenzialmente crescente con la profondità passando da 18,5 kN/mc in superficie, a 19 kN/mc alle profondità intermedie, sino a 20 kN/mc oltre i 40 m da p.c. Laddove sono stati eseguiti i limiti di Atterberg risulta mediamente Wl 27 ed Ip 2; nel diagramma di Plasticità di Casagrande sono limi a bassa plasticità. Le permeabilità in laboratorio variano fra 10^{-8} m/s e 10^{-6} m/s, apparentemente correlabili ad un aumento con la profondità e/o della frazione sabbiosa. Rimandando alla relazione geotecnica per un commento dei parametri di resistenza, le prove palesano angoli d'attrito variabili da un minimo di 26°-28° sino a, più spesso, 32°-34°, accompagnati sempre da una seppur debole coesione.

Sondaggio	Campione	Profond (m)	Wn (%)	P/V (Mg/mc)	Sr (%)	Wl (%)	Wp (%)	Ip	Granulometria				K (m/s)	Triassiale CIU		Taglio diretto	
									Ghiaia (%)	Sabbia (%)	Limo (%)	Argilla (%)		ϕ' (°)	c' (kPa)	ϕ' (°)	c' (kPa)
S1	1	3,0-3,5	27,0	18,7	92	29	27	2	0	50	42	8	7x10-8			30,1	3,2
	2	16,5-17	22,3	18,6	82,11				0	80	17	3				32	3,2
	3	29-29,5	24,3	19,1	90,5	27	25	2	0	40	49	11				28,6	7,6
	4	52-52,5	23,5	19,9	99,58	25	24	1	0	48	42	10				32,8	9,4
S2	1	8,5-9	8,55	19,9	54				35	59	6	0				34,6	0,64
	3	19-19,5	24,7	19,7	99,6				0	84	13	3				33	2,8
	4	25,5-26	15,5	20,5	86,2				12	67	16	5				31,7	6,1
	5	40-40,5	26,45	19,1	95,9				0	74	20	6				32,5	8,8
S3	1	8-8,5	25,08	19,7	99,6				0	62	29	9	5x10-7			31,6	6,5
	2	18-18,5	19,3	20,1	91,42				0	70	23	7				32,2	4,1
	3	30-30,5	28,5	19	97,7				0	75	19	6				32,1	10,8
S4	2	12,5-13	81,45	14,6	99,7				14	57	15	14				26	2
	3	22-22,5	15,18	20,7	88,54				4	68	15	13	1x10-6			31,5	6,6
	4	39,5-40	24,6	19,7	99,04	27	25	2	0	53	27	20				32,8	4,7

Tabella 7.3 Campagna anno 2012. Prove di laboratorio geotecnico

Le prove CPT sono state spinte sino alla profondità di circa 30 m da p.c. ed hanno palesato una buona correlazione con le stratigrafie dei sondaggi. Per superare l'orizzonte superficiale di riporto o di

pavimentazione stradale è stato eseguito un preforo di lunghezza circa variabile fra 1-2 m.

La ricostruzione stratigrafica semplificata desunta dalla documentazione progettuale originaria è riepilogata in Figura 7.4, e vede la presenza di terreni da limoso sabbiosi ad argilloso limosi poco addensati con resistenza alla punta di 5-10 Kg/cmq sino circa 10-13 m da p.c., seguiti da sabbie limose ben addensate con resistenza alla punta di 150-250 Kg/cmq.

CPT 1

n°	quote	QC	Cu	ø	Descrizione
1	0,80 m - 4,00 m	31,44	0,83	30,36	Limo sabbioso
2	4,00 m - 10,00 m	9,90	0,44	26,52	Argilla limosa
3	10,00 m - 26,40 m	179,05	5,41	36,77	Sabbia debolmente limosa
4	26,40 m - 30,00 m	253,67	7,67	38,79	Sabbia limosa/argillosa

CPT 2

n°	quote	QC	Cu	ø	Descrizione
1	2,40 m - 7,40 m	40,36	0,91	30,80	Limo sabbioso
2	7,40 m - 11,60 m	12,95	0,50	28,05	Argilla limosa
3	11,60 m - 25,60 m	118,63	3,97	34,57	Sabbia debolmente limosa
4	25,60 m - 29,60 m	277,60	8,38	38,89	Sabbia limosa/argillosa

Figura 7.4 Campagna anno 2012. Sintesi risultati prove CPT (fonte: report ditta esecutrice)

Per maggiore chiarezza in Figura 7.5 e Figura 7.6 sono riportati i diagrammi delle prove CPT1 e CPT2, grazie ai quali si può osservare in maniera chiara, più di quanto non sia possibile con le stratigrafie, le SPT e le prove di laboratorio, la diversa e minore resistenza alla punta dei terreni compresi fra p.c. e la profondità di circa 10-13 m da p.c. rispetto a quelli sottostanti.

Nel corso delle prove CPT la falda è stata rilevata alla profondità di circa 3,8 m da p.c.

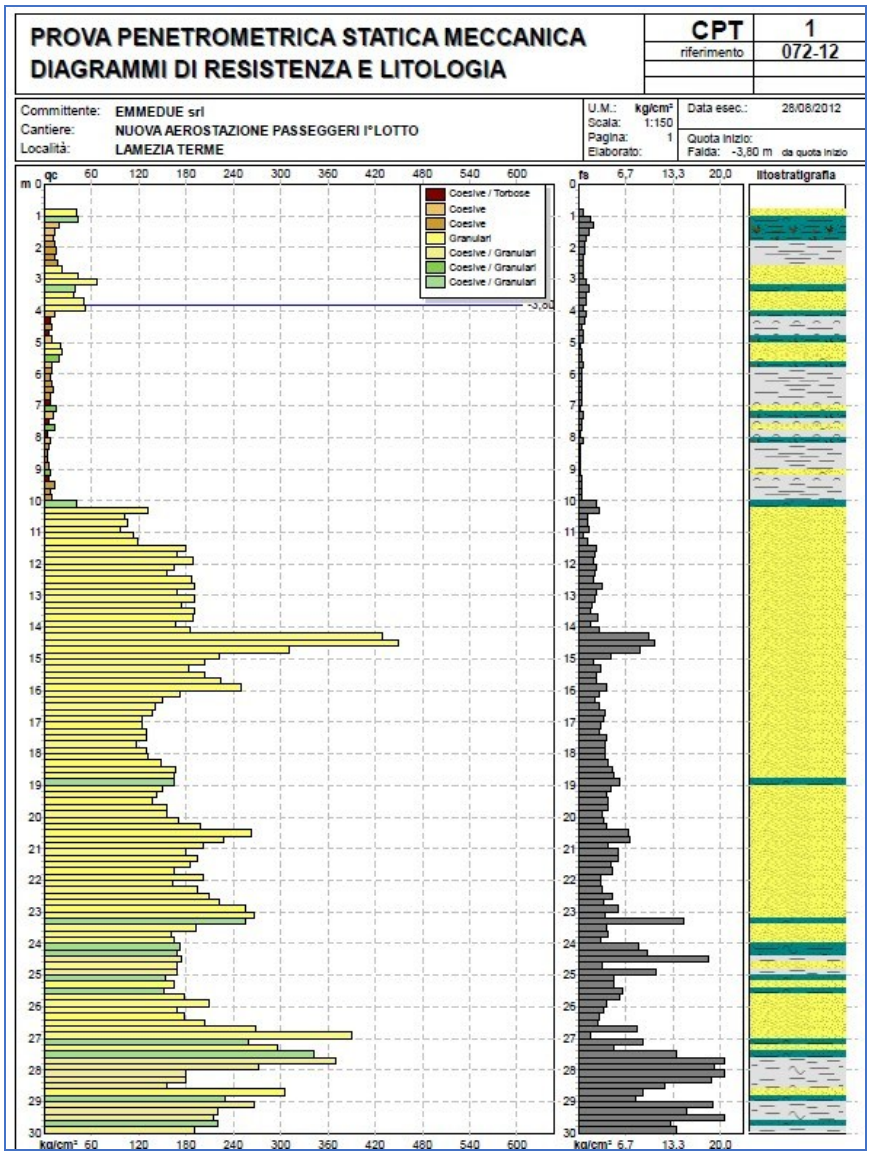

Figura 7.5 Campagna anno 2012. Risultati prova CPT1

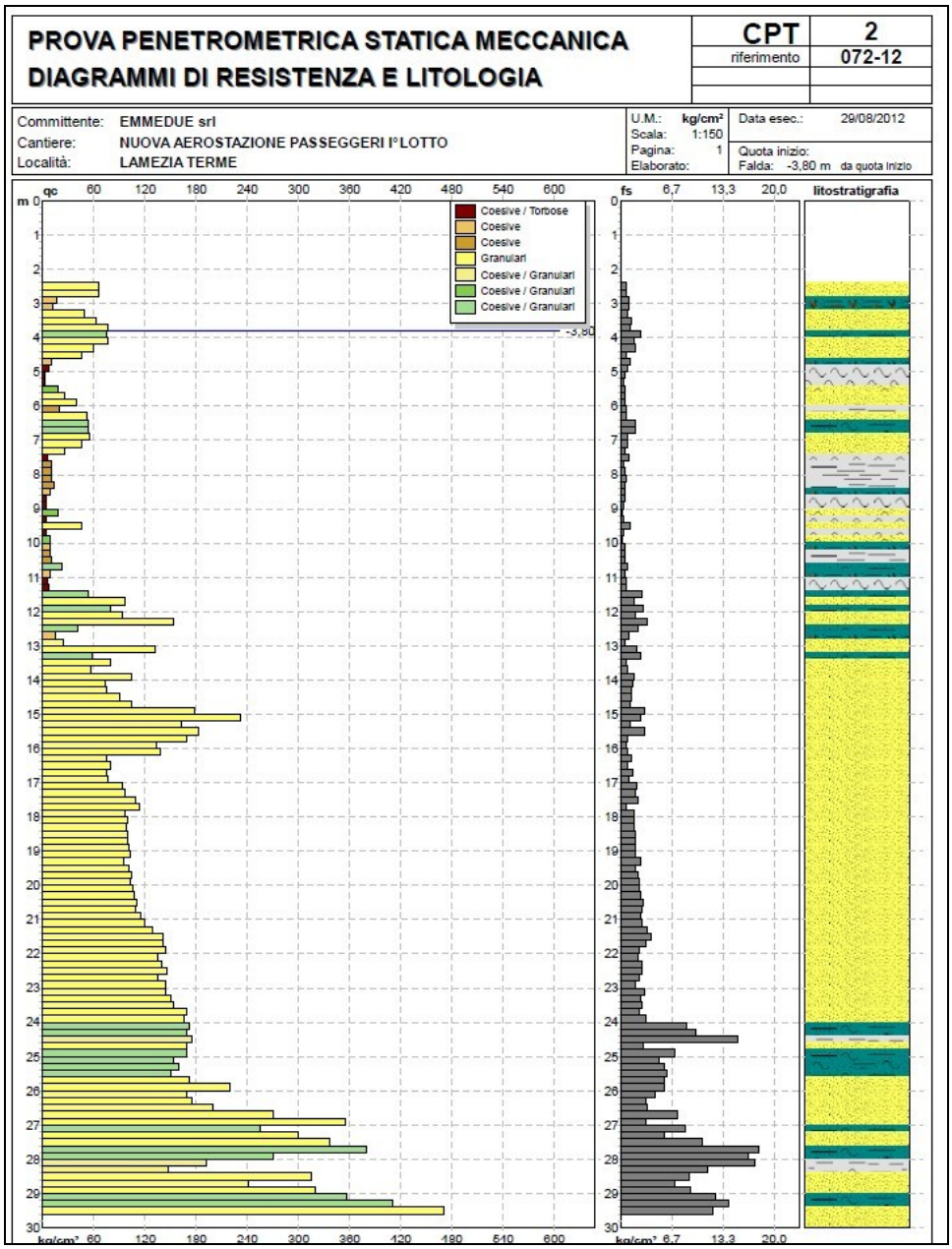

Figura 7.6 Campagna anno 2012. Risultati prova CPT2

Lo stendimento sismico a rifrazione si colloca nella porzione settentrionale dell'area investigata, a margine di Viale Imbrognano; ha una lunghezza di circa 100 m per una profondità investigata massima di circa 36 m. La ricostruzione stratigrafica ben si sposa con le risultanze geognostiche e permette di riconoscere un orizzonte superficiale attribuibile a materiale di riporto dello spessore medio 1-2 m con punte fino a 5 m avente Vp=400 m. Esso poggia su limi argilloso sabbiosi poco addensati (descritti qui come sabbie limose) con Vp = 800-900 m/s che si spingono sino a 11-13 m da p.c. A seguire sabbie medio fini limose con velocità progressivamente crescenti verso il basso (Vp = 1200 m fra 10-20m e Vp = 1700-1800 m/s fra 20m e 36 m da p.c.).

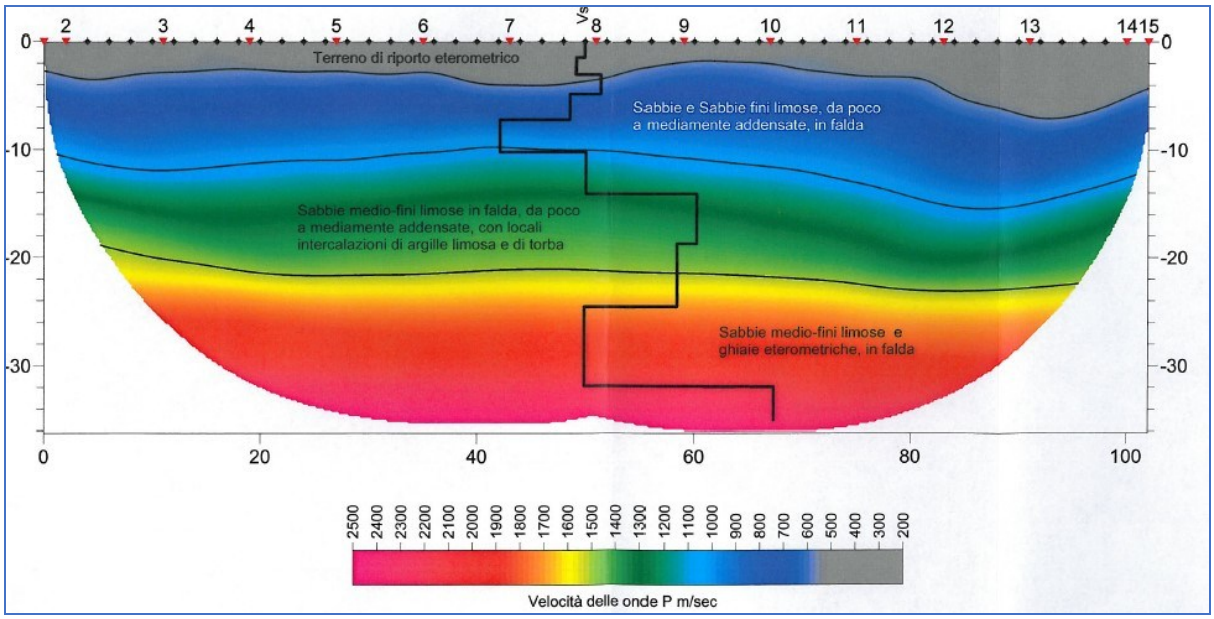

Figura 7.7 Campagna anno 2012. Interpretazione stendimento sismico a rifrazione

N° 5 Masw sono state eseguite lungo due allineamenti fra loro paralleli e disposti a nord e sud rispetto l'attuale fabbricato aerostazione. In tutti i casi non è presente un substrato sismico (Vs>800 m/s) mentre l'andamento delle velocità con la profondità si dimostra piuttosto articolato ed irregolare sia nell'ambito della stessa verticale che nel confronto fra verticali vicine, evidenziando terreni con caratteristiche litotecniche ed elastiche piuttosto variabili. Sono presenti anche marcate inversioni di velocità, specie in superficie fra 4-12 m e più raramente attorno a 26-27 m, inversioni che nelle Masw eseguite nel corso di altre campagne non si riscontrano o hanno entità sostanzialmente trascurabile.

Le Vs30 sono comprese in un range piuttosto ristretto, fra 224-256 m/s, per una categoria di suolo di fondazione che in tutti i casi è tipo C.

Masw	Vs30 (m/s)	Categoria suolo di fondazione
S1	244	C
S2	229	C
S3	248	C
S4	237	C
S5	256	C

Tabella 7.4 Campagna anno 2012. Risultati prove Masw

La prova HVSR non rileva picchi significativi confermando l'assenza di un substrato sismico entro i 50 m da p.c. Il profilo di inversione ricostruito (Figura 7.8) evidenzia una marcata variazione di velocità (da Vs = 310 m/s a 560 m/s) attorno a 90 m da p.c., verosimilmente all'interno di depositi alluvionali a diversa granulometria e grado di addensamento. Una seconda variazione ancora più marcata si attesta a 280 m di profondità e potrebbe essere correlabile con il passaggio fra il potente complesso alluvionale ed il substrato sismico in facies litoide avente Vs 950 m/s.

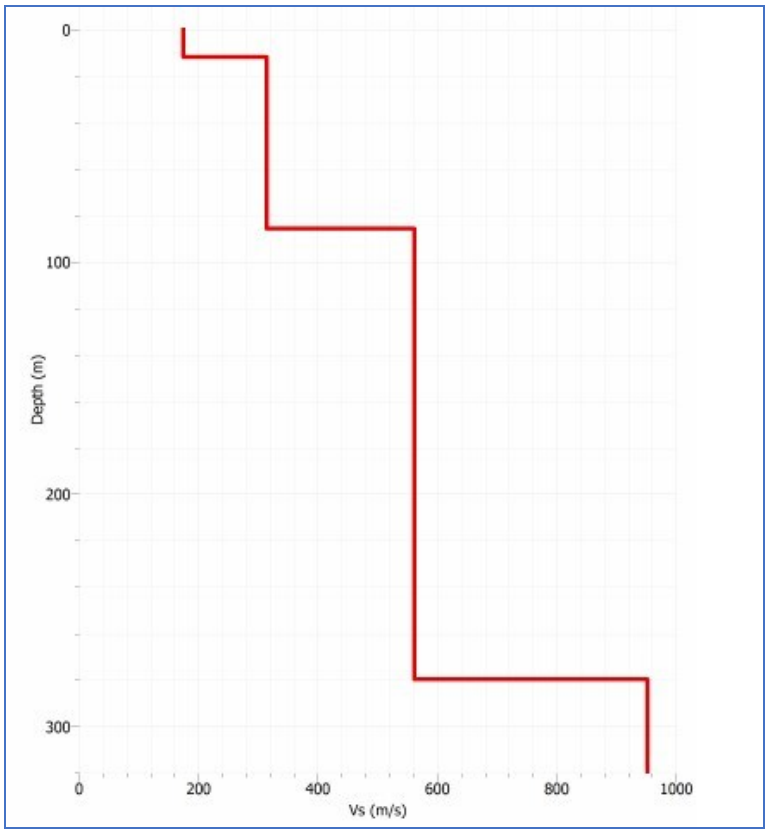

Figura 7.8 Campagna indagini 2012. Profilo di velocità delle Vs calcolato nel processo di inversione da prova HVSR

I fori di sondaggio S2 ed S4 sono stati attrezzati con una tubazione in PVC per l'esecuzione di prove down hole con acquisizione delle onde P ed S. Da queste prove risulta che lo strato di riporto ha valori medi di Vs da 100 ad oltre 200 m/s. Al di sotto sino ad 8-11m si hanno Vs=150-220 m/s attribuibili a terreni a grana prevalentemente fine poco consistenti. A seguire terreni sabbioso limosi da mediamente addensati ad addensati con Vs fra 220-420 m/s. A profondità comprese fra circa 5m e 35m, e non coerenti fra le due prove, si riscontrano inversioni di velocità delle onde di taglio.

Le Vp tolto lo strato superficiale di riporto e sopra falda, dalla profondità di circa 4-5 m si allineano attorno a 1500 m/s, con locali e sottili inversioni di velocità concentrate fra 5-8 m e fra 18-34 m circa.

La Figura 7.9 riepiloga i risultati delle down hole.

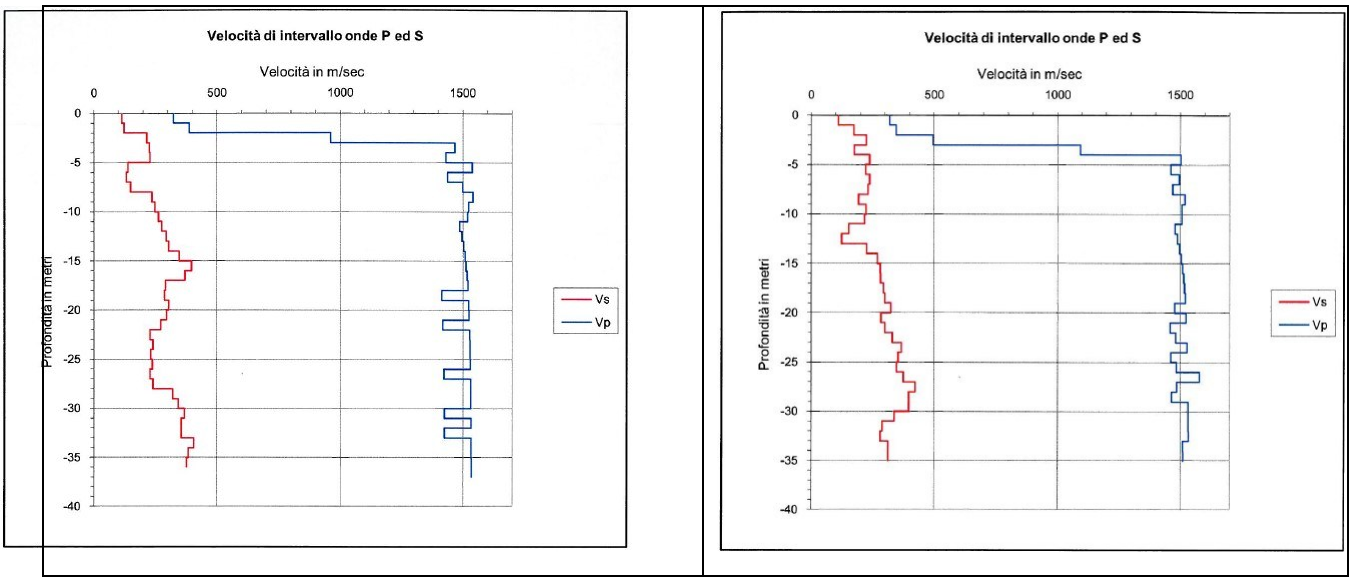

Figura 7.9 Campagna indagini 2013. Risultati prove Down Hole (S2 a sinistra ed S4 a destra)

7.1.3. Indagini anno 2023 ditta C.I.G.I.T. per corpo avanzato

Posizionate a sud dell'attuale terminal lato air side, ed eseguite nell'ambito del progetto esecutivo di una nuova struttura polifunzionale – nuovo corpo avanzato lato air side, comprendono:

- n° 3 sondaggi a carotaggio continuo profondi 10-30 m con prove in sito e di laboratorio, di cui n° 1 attrezzato con piezometro;
- n° 1 Masw per la determinazione della categoria di suolo di fondazione e n° 1 prova HVSR.

In Figura 7.10 l'ubicazione delle indagini del 2023 in corrispondenza del corpo avanzato così come risultano dalla documentazione progettuale.

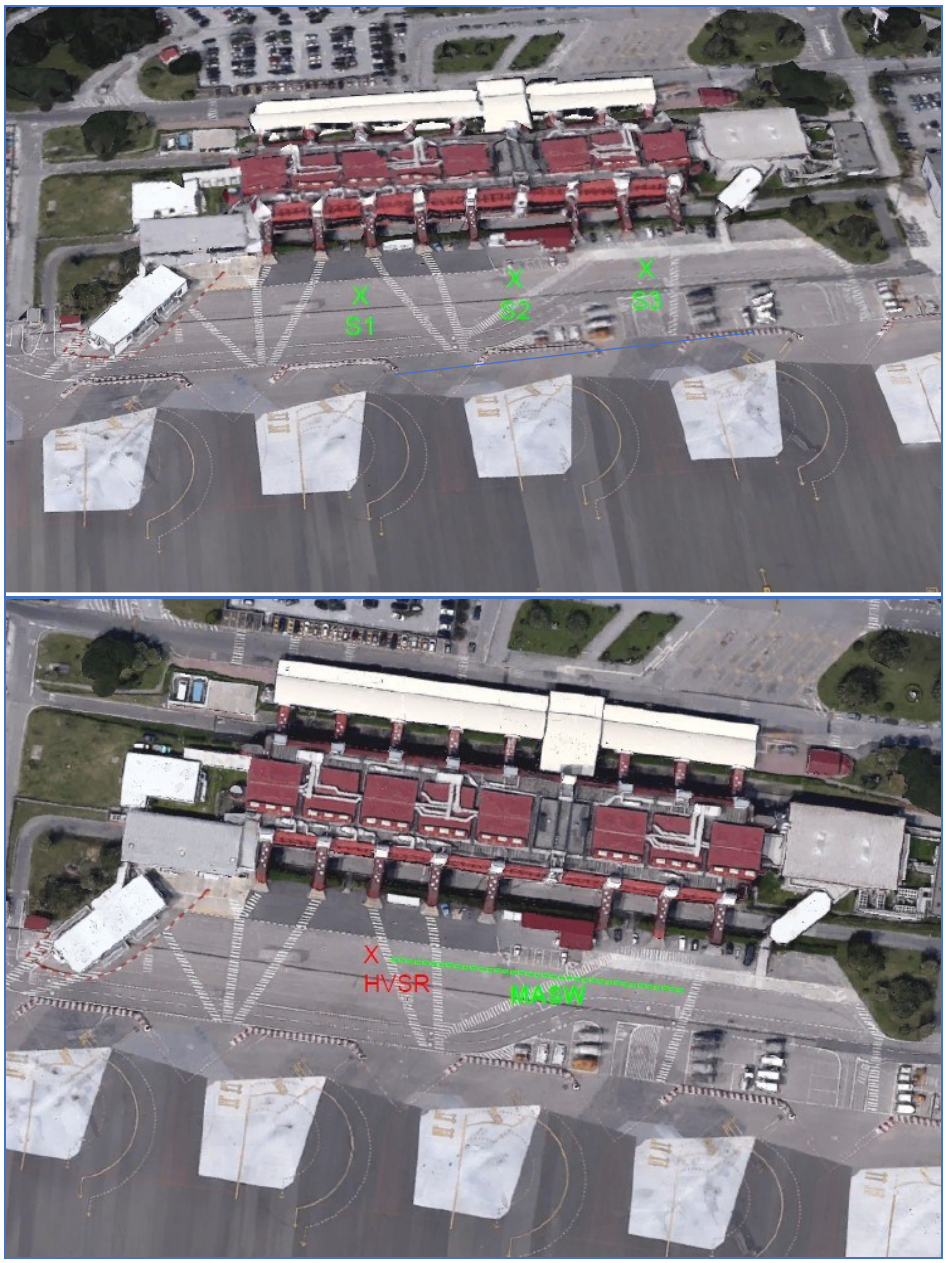

Figura 7.10 Ubicazione indagini geognostiche e geofisiche anno 2023 sul corpo avanzato (fonte: Report ditta CIGIT modificato)

I sondaggi rilevano un orizzonte di materiale di riporto potente circa 3,5-4 m in appoggio su sabbie limose da poco a mediamente addensate che si spingono sino a circa 8,1-9,3 m. A seguire limi argillosi grigiastri spesso con presenza di sostanza organica (lignite) poco compatti e compressibili che raggiungono la profondità di circa 14-15 m da p.c. Successivamente compaiono sabbie e sabbie limose ben addensate, a tratti con ghiaia e qualche ciottolo.

Non sono stati acquisiti valori di pocket penetrometer dalle carote.

Nel piezometro installato sul sondaggio S1 la falda nel mese di agosto 2023 è stata misurata a 3,8 m da p.c.

Nel corso dei sondaggi S1 ed S3 sono stati prelevati 2 campioni indisturbati ciascuno, per un totale di 4.

Nel corso delle perforazioni sono state condotte n° 10 prove in sito tipo SPT che rilevano terreni da mediamente a moderatamente addensati sino alla profondità di 13 m da p.c., e ben addensati più in profondità.

Sondaggio	Profondità	Litologia	SPT
S1	2	R	8
	4,5	SL	13
	12,8	LA	8
S2	2	R	13
	6	SL	11
S3	2	R	8
	4,5	R	13
	12,8	LA	8
	19,3	SL	36

Tabella 7.5 Campagna indagini 2023 sul corpo avanzato. Risultati prove SPT

La tabella seguente riepiloga sinteticamente quantità, caratteristiche e risultati dei sondaggi del 2023.

Sondaggio	Profondità (m)	Condiziona m.	SPT	Lefranc	Campioni	Stratigrafia	Falda (m)
S1	15	Piezometro	3	-	-	Da 0-4,2 m riporto grossolano. Da 4,2 m a 9,3 m sabbie limose e limi sabbioso argillosi. A seguire limi argillosi poco consistenti con tracce sostanza organica	3,8
S2	10	-	2	-	2	Da 0-3,5 m riporto grossolano. Da 3,5 m a 8,1 m sabbie e sabbie limose a tratti con ghiaia. A seguire limi argillosi grigiastri	
S3	30	-	4	-	2	Da 0-8,2 m sabbie e sabbie limose a tratti con ghiaia. Da 8,2 a 13,9 m limi argillosi grigiastri con lignite A seguire sabbie e sabbie limose a tratti con ghiaia e ciottoli	

Tabella 7.6 Sondaggi campagna anno 2023 sul corpo avanzato

Prove di laboratorio geotecnico sono state condotte sui pochi campioni prelevati. I risultati, riepilogati in tabella, nel confermare la presenza di terreni sabbioso limosi debolmente argillosi (sabbia 65-75%%, limo 15-30%, argilla 3-4%) campionano anche i terreni più fini attraversati fra le profondità di 8-9 m e 15 m circa, che risultano essere limi argillosi debolmente sabbiosi (limo 50%, argilla 45%, sabbia 5%). Non sono state eseguite determinazioni dei limiti di Atterberg. In generale il contenuto d'acqua è del 25-28%, il grado di saturazione del 90-98%, ed il peso di volume variabile fra 18 kN/mc in superficie e 19 kN/mc in profondità. Rimandando alla relazione geotecnica per il commento dei parametri di resistenza dalla tabella, le prove restituiscono bassi valori dell'angolo d'attrito nei terreni coesivi (20°-21°), mentre per le sabbie limose si hanno angoli d'attrito di circa 25°-26° in superficie negli orizzonti più sciolti, e di 33°-34° in profondità in quelli ben addensati, sempre accompagnati da una debole coesione.

Sondaggio	Campione	Profondità (m)	Wn (%)	P/V (Mg/mc)	Sr (%)	Wl (%)	Wp (%)	Ip	Granulometria				K (m/s)	Triassiale CIU		Taglio diretto	
									Ghiaia (%)	Sabbia (%)	Limo (%)	Argilla (%)		ϕ' (°)	c' (kPa)	ϕ' (°)	c' (kPa)
S1	C1	4,2-4,6	28,4	18,3	89,4				0,5	66,2	29,3	4				25,1	1,8
	C2	10,2-10,6	27,7	18,8	92,3				0	4,7	49,9	45,4				20,2	12,6
S3	C1	12,4-12,8	27,0	19,3	98,1				0	6	51,5	42,5				20,9	10,5
	C2	29,3-29,7	24,5	18,8	87,5				4,4	74,9	17,7	3				33,9	4,4

Tabella 7.7 Campagna anno 2023 sul corpo avanzato. Prove di laboratorio geotecnico

La Masw è stata eseguita tramite uno stendimento disposto est-ovest che idealmente collega i sondaggi. Viene confermata l'assenza di un substrato sismico entro i 30 m di profondità, mentre la Vs30 è di 329 m/s, superiore a quanto rilevato nelle indagini del 2012, e comunque sempre riferibile ad una categoria di suolo di fondazione tipo C. Diversamente dal caso precedente le velocità sono sempre crescenti verso il basso senza inversioni. Un marcato incremento di velocità si localizza a circa 21 m in seno alle sabbie limose.

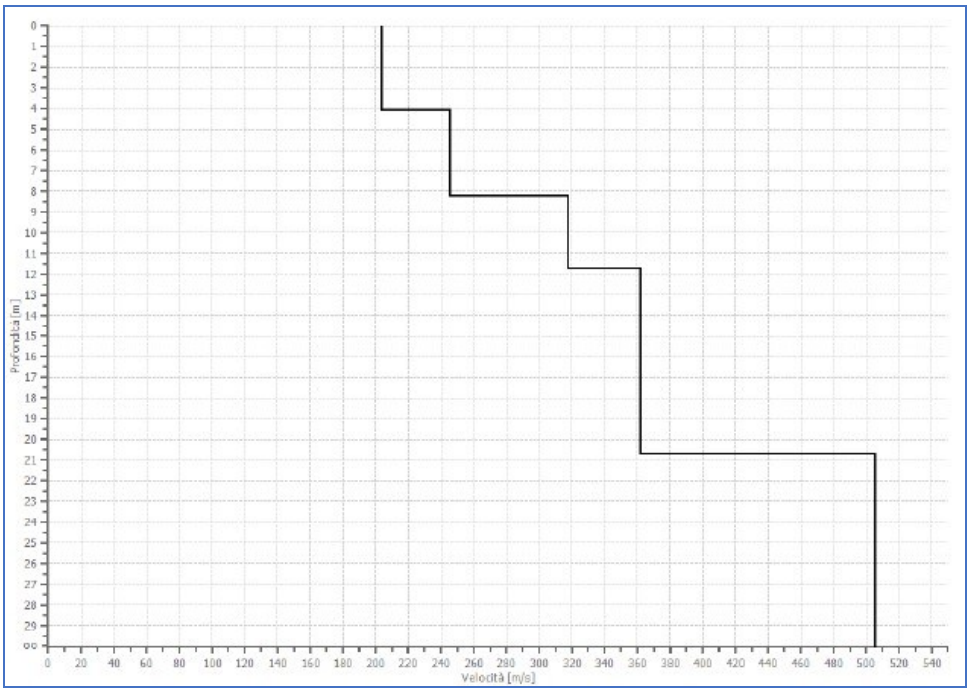

Figura 7.11 Campagna anno 2023. Risultati prova Masw

La prova HVSR rileva un debole picco a circa 2.3 Hz ed ancora velocità sempre crescenti verso il basso con un incremento attorno a 20 m in coerenza con la Masw sopra descritta. Attorno a 55 m si ha un ulteriore incremento che potrebbe essere correlabile con depositi alluvionali a granulometria più grossolana. Poco prima dei 75 m si ha un ulteriore e deciso aumento di velocità sino a 900 m/s, un valore attribuibile ad un substrato sismico, e che risulta in disaccordo con quanto si evince da altre prove HVSR eseguite in zona, e difficilmente giustificabile su base bibliografica.

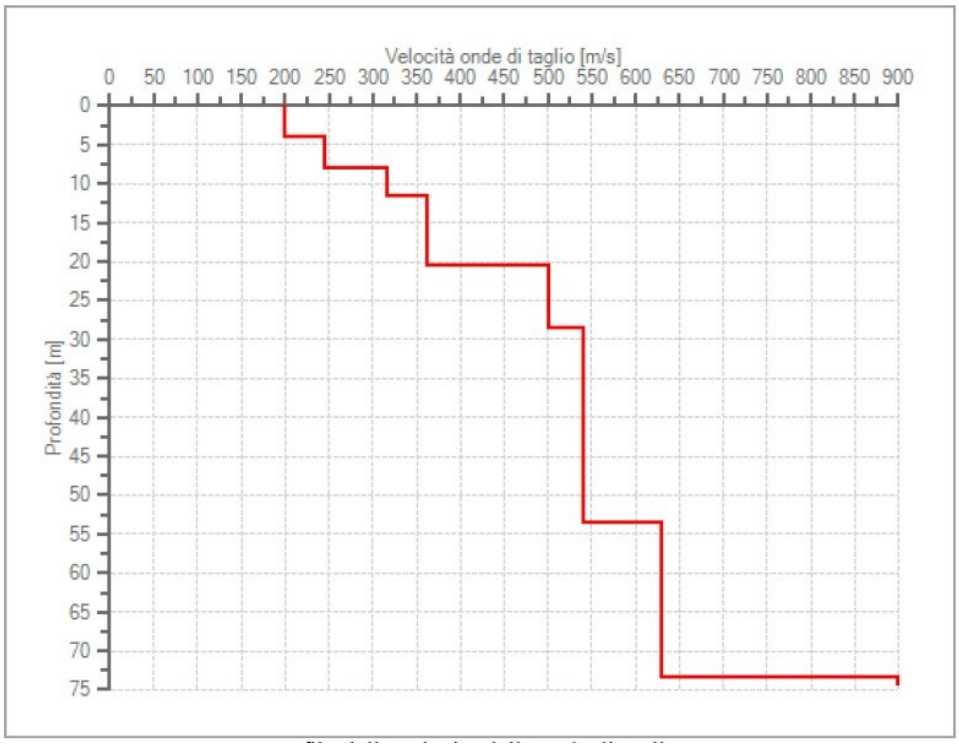

Figura 7.12 Campagna anno 2023 sul corpo avanzato. Risultati prova HVSR

7.1.4. Indagini anno 2023 ditta C.I.G.I.T. per riqualifica della viabilità di accesso

Posizionate ad una certa distanza rispetto all'aerostazione e più in generale alle opere in progetto, eseguite nell'ambito del PFTE della nuova viabilità di accesso, sono comunque utili perché confermano ed approfondiscono il modello stratigrafico disponibile anche ad una scala superiore a quella di stretta pertinenza degli interventi previsti. Comprendono:

- n° 1 sondaggio a carotaggio continuo profondo 30 m con prove in sito e di laboratorio;
- n°1 prova penetrometrica continua tipo CPT profonda 15 m;
- n° 1 Masw per la determinazione della categoria di suolo di fondazione e n° 1 prova HVSR.

In Figura 7.13 l'ubicazione delle indagini del 2023 sulla viabilità di accesso tratta dal report contenente i risultati delle prove.

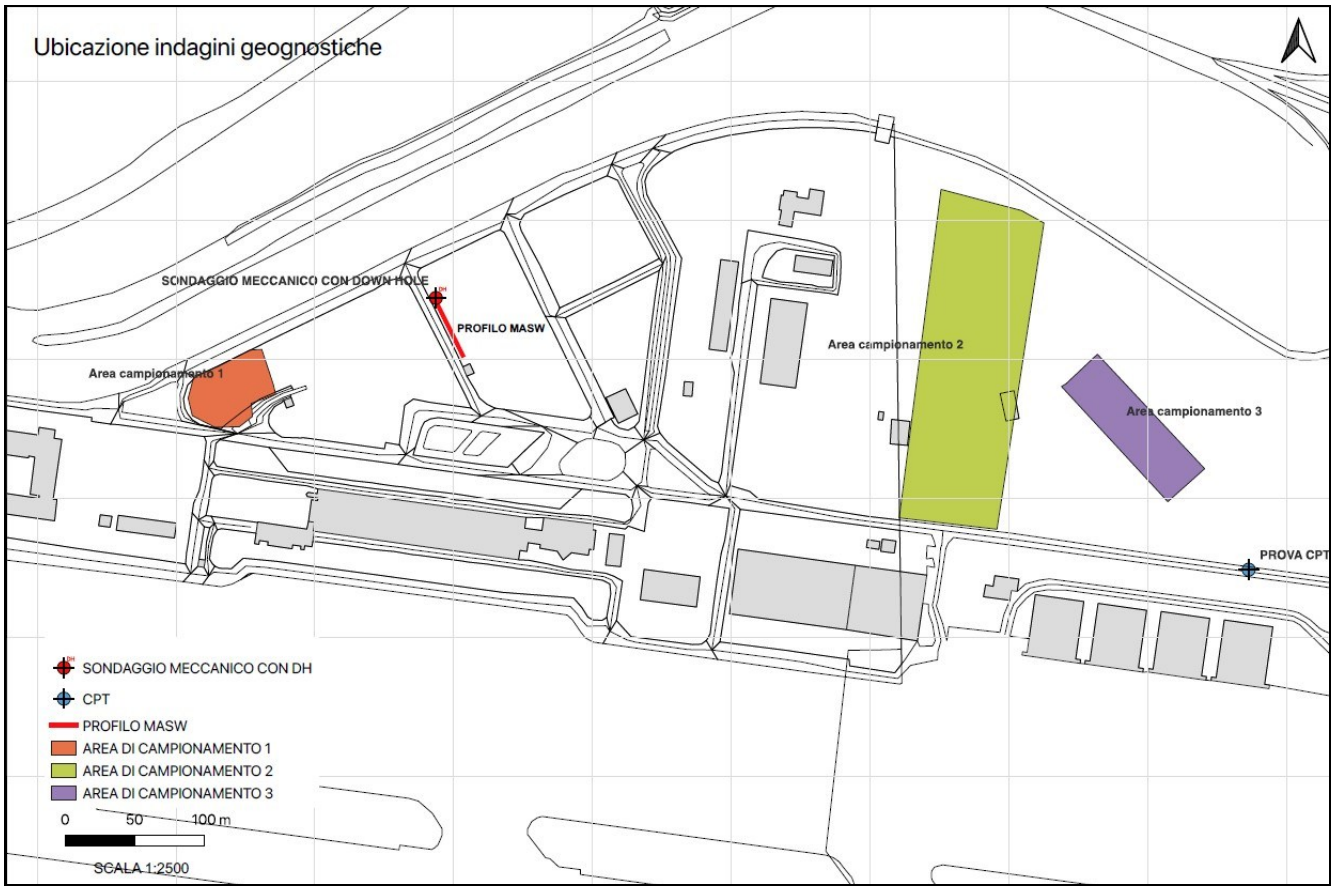

Figura 7.13 Ubicazione indagini campagna anno 2023 sulla viabilità di accesso (fonte: report indagini)

Il sondaggio al di sotto di una sottile coltre di riporto (pavimentazione stradale) riscontra sabbie limose da poco a mediamente addensate che si spingono sino a circa 16 m, con una intercalazione di argille sabbiose da 12,5 a 13,5 m. Infine sabbie e sabbie limose addensate, a tratti (circa 29 m da p.c.) con ciottoli.

Non sono stati acquisiti valori di pocket penetrometer dalle carote.

La falda è indicata alla profondità di 2,0 m da p.c.

Nel corso di ogni sondaggio sono stati prelevati 4 campioni indisturbati.

Nel corso della perforazione sono state condotte n° 4 prove in sito tipo SPT che rilevano terreni da mediamente a moderatamente addensati sino alla profondità di 16 m da p.c., e addensati più in profondità.

Sondaggio	Profondità	SPT	Litologia
SH	3,4	6	SLA
	9	21	SLA
	16	27	SL
	22,5	43	SL

Tabella 7.8 Campagna indagini 2023 sulla viabilità di accesso corpo avanzato. Risultati prove SPT

La tabella seguente riepiloga sinteticamente quantità, caratteristiche e risultati dei sondaggi del 2023.

Sondaggio	Profondità (m)	Condiziona m.	SPT	Lefranc	Campioni	Stratigrafia	Falda (m)
SH	30	Piezometro	4	-	4	Da 0-0,5 m riporto Da 0,5-16m sabbie limose da poco a mediamente addensate Da 12m a 13,5m intercalaizone di argille sabbiose con torba Da 16m a 30 m sabbie limose addensate	2

Tabella 7.9 Sondaggi campagna anno 2023 sulla viabilità di accesso

Prove di laboratorio geotecnico sono state condotte sui campioni prelevati. I risultati, riepilogati in tabella, segnalano la presenza di terreni sabbioso limosi o limoso sabbiosi argillosi. Non sono state eseguite determinazioni dei limiti di Atterberg. In generale il contenuto d'acqua è del 20-24%, il grado di saturazione del 80-98% crescente con la profondità, ed il peso di volume variabile fra 18,7 kN/mc in superficie e 20 kN/mc a 24 m da p.c. I parametri di resistenza mostrano angoli d'attrito variabili fra 24°-31° in funzione della profondità e della natura litologica, con presenza di una debole coesione.

Sondaggio	Campione	Profondità (m)	Wn (%)	P/V (Mg/mc)	Sr (%)	Wl (%)	Wp (%)	Ip	Granulometria				K (m/s)	Triassiale CIU		Taglio diretto		UU
									Ghiaia (%)	Sabbia (%)	Limo (%)	Argilla (%)		ϕ' (°)	c' (kPa)	ϕ' (°)	c' (kPa)	Cu (kPa)
S1	C1	3,0-3,4	20,4	18,7	78,1				0	21,9	57,2	20,9				24	10,6	
	C2	8,5-9	23,0	19,4	91				0	77,4	22,6					28	3,6	
	C3	15,5-15,6	24,1	19,4	93				0	28,1	50,9	21				25,3	10,2	
	C4	24-24,4	23,5	19,8	98				0	66,8	28,2	5				31	1	

Tabella 7.10 Campagna anno 2023 sulla viabilità di accesso. Prove di laboratorio geotecnico

La prova CPT, sensibilmente spostata ad est rispetto al sondaggio, sottolinea la presenza di basse resistenze alla punta e terreni limoso sabbioso argillosi sino alla profondità di almeno 10,0-10,5 m da p.c., in appoggio su sabbie addensate (Figura 7.14).

La Masw (Figura 7.15) fornisce un valore di Vs30 di 223 m/s e, tolto il contributo del riporto, velocità crescenti verso il basso, con un incremento di velocità a circa 17 m da porre in relazione con un aumento di densità del terreno; un incremento ancora più marcato si rileva a 35 m da p.c.

La prova HVSR (Figura 7.16) rileva un debole picco a circa 2.1 Hz ed ancora velocità sempre crescenti verso il basso, fatta eccezione per l'inversione dovuta alla presenza del riporto superficiale. Un ulteriore aumento di velocità si registra attorno a 35 m in coerenza con la Masw, mentre a circa 120 m si attesterebbe il substrato sismico con Vp> 800 m/s.

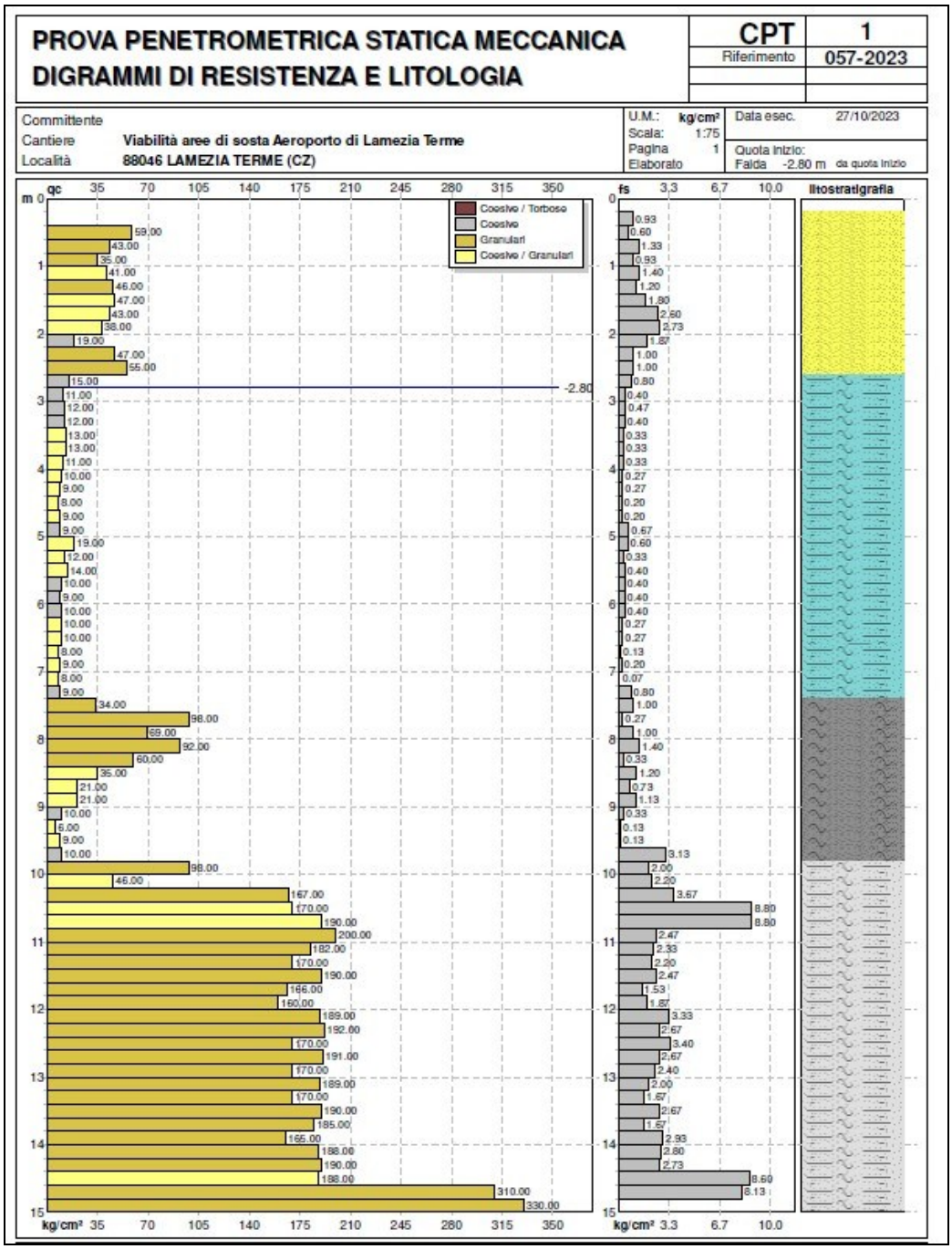

Figura 7.14 Campagna anno 2023 sulla viabilità di accesso. Prova CPT

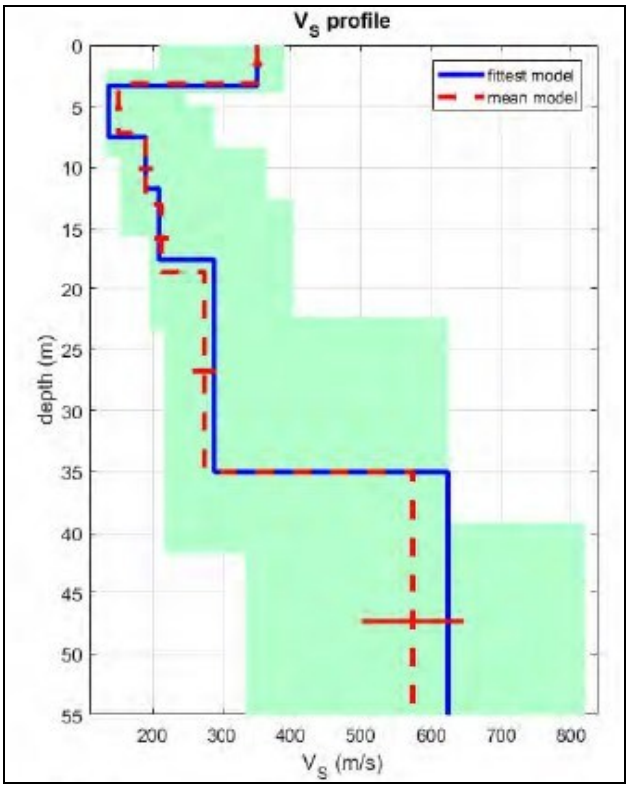

Figura 7.15 Campagna anno 2023 sulla viabilità di accesso. Risultati prova Masw

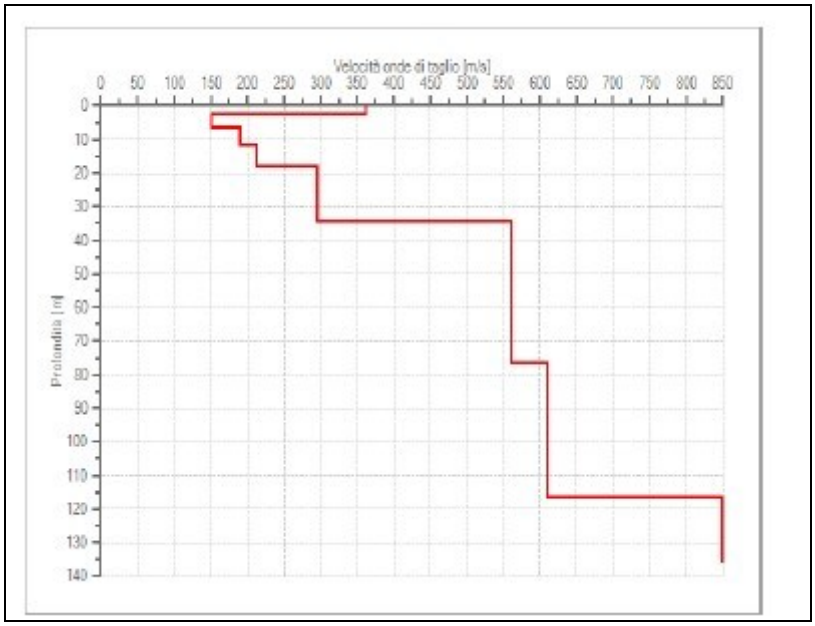

Figura 7.16 Campagna anno 2023 sulla viabilità di accesso. Risultati prova HVSR

7.2. Indagini geognostiche eseguite

Come si evince da quanto sin qui esposto in corrispondenza dell'aerostazione passeggeri sono disponibili diverse indagini pregresse. Le informazioni acquisite confermano il modello stratigrafico e idrogeologico desunto dalla documentazione bibliografica, con depositi alluvionali sabbioso limoso argillosi grigiastri da poco a mediamente addensati, con anche presenza di limi argillosi soffici contenenti torba e lignite, che si spingono sino alla profondità di circa 10-16 m da p.c. circa. Essi

poggiano su sabbie, sabbie limose e sabbie ghiaiose da mediatamente addensate a ben addensate di colore variabile dal marroncino al grigio. Resta comunque una spiccata variabilità laterale, oltre che verticale, imputabile al particolare ambiente deposizionale ed alla variazione nello spazio e nel tempo dell'energia deposizionale (depositi granulari in ambiente di canale e depositi fini in zona di interfluivio o in ambiente di locale e temporanea stagnazione).

In tale contesto, preso atto della necessità di fornire un modello geologico, geotecnico, idrogeologico e sismico da adottarsi per la progettazione della nuova aerostazione, e preso atto delle caratteristiche dei terreni, della loro potenziale variabilità, del potenziale rischio di liquefazione e della modesta soggiacenza della falda, in sede di progettazione definitiva si è ritenuto opportuno prevedere una integrazione geognostica articolata mediante:

- N° 4 sondaggi a carotaggio continuo denominati da S1/24 a S4/24, attrezzati con piezometro e profondi 40 m, con prove in sito tipo Lefranc ed SPT, prelievo di campioni geotecnici ed ambientali da sottoporre ad analisi di laboratorio;

- N° 9 prove penetrometriche statiche con punta elettrica e piezocono denominate da Cptu1 a Cptu8, con richiesta di raggiungere la profondità di 40 m, o sino a manifeste condizioni di rifiuto, con n° 1 o 2 prove di dissipazione per ogni verticale;

- N° 3 Masw per la verifica della categoria di suolo di fondazione.

I lavori sono stati condotti dalla ditta Istemi di Mercato S Severino (Sa) a cavallo dei mesi di febbraio e marzo 2024. È in questa sede opportuno specificare che il posizionamento delle verticali è stato spesso condizionato dall'accessibilità ai luoghi e dalla presenza di numerosi sottoservizi, specie lungo il settore meridionale dell'aerostazione merci. La figura seguente riporta l'ubicazione delle indagini eseguite unitamente a quelle pregresse. Per un ulteriore e maggiore dettaglio si rimanda alla specifica planimetria allegata al progetto redatta in scala 1:2.000.

Figura 7.17 Ubicazione indagini eseguite (colore rosso) e pregresse (colore blu) sullo stato di fatto

Nei paragrafi seguenti sono descritti e commentati i risultati conseguiti dalle singole attività.

7.2.1. Attività preliminari

Preliminarmente alle attività di campo si è provveduto a verificare, con l'ausilio del committente, la presenza di eventuali sottoservizi e l'accessibilità alle aree poste in land side ed air side. Le verticali d'indagine sono state materializzate acquisendo le coordinate planoaltimetriche. Cautelativamente una scansione mediante georadar ha permesso di verificare la presenza di eventuali interferenze e/o sottoservizi. A seguito di ciò si è reso necessario spostare alcune delle postazioni originariamente previste in quanto ricadenti in aree dense di sottoservizi, o in contesti che potevano creare ostacolo o vincoli di sicurezza nella normale gestione aeroportuale.

7.2.2. Sondaggi con prove in sito e prelievo di campioni

I sondaggi sono numerati da S1/24 a S4/24, raggiungono la profondità di 40 m da p.c. e sono tutti attrezzati con piezometro a tubo aperto avente diametro minimo da 3", in modo da agevolare eventuali campionamenti. I piezometri sono protetti da pozzetti metallici.

Per ogni sondaggio si sono eseguite:

- n° 4 prove di permeabilità tipo Lefranc di cui la prima entro 10 m da p.c., la seconda fra 10-15m, la terza fra 15-30 m e la quarta fra 34-36 m;
- n° 10 SPT distribuite regolarmente entro i primi 20-30 m da p.c.
- n° 8 campioni geotecnici rimaneggiati distribuiti lungo la perforazione (da 0 a 40 m) in modo da rappresentare adeguatamente tutte le litologie attraversate;
- un numero variabile fino ad un massimo di n° 4 campioni geotecnici indisturbati in funzione della tipologia di terreni attraversati.

I sondaggi S1-S2-S3 posizionati in corrispondenza del nuovo terminal partenze al di sotto di una coltre di riporto mediamente addensata a composizione sabbiosa, potente circa 2,0-2,5 m, riscontrano sabbie limose e limi sabbioso argillosi di colore grigiastro da poco a mediamente addensate che si spingono sino a circa 10-12,5 m, con una intercalazione limoso argillosa con torba fra circa 6,0-8,0 m. Seguono sabbie, sabbie limose e sabbie ghiaiose da addensate a ben addensate di colore marroncino o grigiastro con, a partire dalla profondità di circa 27,00 m, presenza di bivalvi a denotare una deposizione in ambiente marino.

Il sondaggio S4 è più spostato e ricade sul margine ovest dell'aerostazione esistente, futuro terminal arrivi, e al di sotto di circa 1,5 m di riporto sabbioso conferma la presenza di sabbie limose poco addensate che si spingono sino a 10,0 m da p.c., con una intercalazione argillosa fra 7,5-9,8 m da p.c. A seguire sabbie limose e sabbie ghiaiose ben addensate di colore marroncino, con una seconda intercalazione argilloso limosa con anche resti torbosi fra 17,4-20,3 m da p.c.

La tabella seguente riepiloga sinteticamente quantità, caratteristiche e risultati dei sondaggi eseguiti.

Sondaggio	Profondità (m)	Condizion.	SPT	Lefranc	Campioni	Falda (m)	Stratigrafia
S1	40	Piezometro	10		8R 3I	3,2	0-2 m riporto sabbioso 2-10 m Sabbie limose e sabbie argillose sciolte con intercalazione di argilla e sabbia 5,6-8,3m. 10-27 m Sabbie limose e sabbie ghiaiose ben addensate di colore grigio giallastro 27-40 m Sabbie argillose addensate con bivalvi
S2	40	Piezometro	10		8R 1I	4,7	0-2,75m Sabbie con clasti (riporto?) 0-10,3m Sabbie limose e limi sabbiosi sciolti con intercalazione di limo argilloso a tratti torboso fra 7,0-8,0m. 10,3-25,5m Sabbia limosa e sabbia ghiaiosa ben addensata di colore marroncino 25,5-40m Sabbie limose addensate di colore grigio nerastro con bivalvi
S3	40	Piezometro	10		8R 0I	?	0-2,40m riporto ghiaioso sabbioso 2,40-12,50m Sabbie limose e limi sabbiosi sciolti con livello torboso fra 6,5-8,0m. Da 12,50-28,20m Sabbie limose e sabbie ghiaiose di colore marroncino ben addensate 28,20-40m Sabbie limose mediamente addensate di colore grigio verde o grigio nerastro con bivalvi
S4	40	Piezometro	10		8R 2I	3,8	0-1,45 m riporto sabbioso 1,45-10,0m Sabbie limose spesso ghiaiose sciolte con intercalazione di argilla fra 5,7-7,5m. 10-17,4m Sabbie limose e sabbie ghiaiose ben addensate 17,4-20,3 m Torbe ed argille limose grigio nerastre 20,3-40 m Sabbie limose e sabbie ghiaiose ben addensate di colore marrone

Tabella 7.11 Sondaggi eseguiti

I piezometri sono stati realizzati con un tratto cieco da 3m e la restante parte fessurata. La falda è stata monitorata durante le attività di cantiere fra il 29 gennaio e 26 febbraio e si attesta mediamente a 3,5 m da p.c. come illustrato in figura seguente.

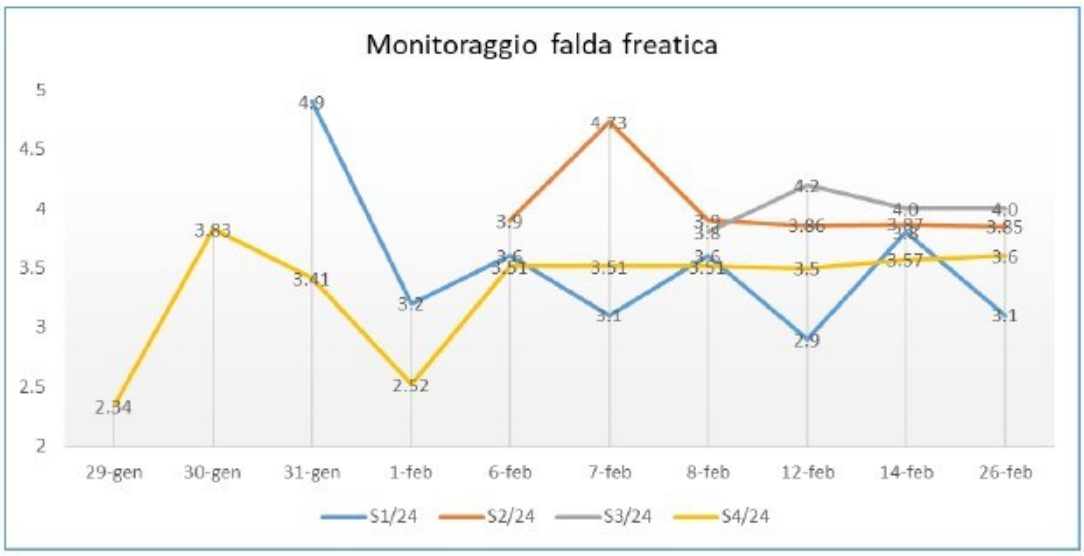

Figura 7.18 Indagini eseguite. Monitoraggio falda tramite piezometri

Nel corso di ogni sondaggio sono state condotte n° 10 prove in sito tipo SPT che rilevano, come riepilogato in Tabella 7.12, terreni da mediamente a moderatamente addensati sino alla profondità di 10-12,5 m da p.c., e addensati più in profondità; non mancano condizioni di rifiuto strumentale indicate con sigla "R".

Sondaggio	Profondità (m)	SPT	Litologia	Sondaggio	Profondità (m)	SPT	Litologia
S1	3	9	Sabbia argillosa	S3	3,1	8	Limo sabbioso
	6,5	2	Argilla		6	4	Sabbia limosa
	9	4	Sabbia argillosa		12	4	Sabbia con ghiaia
	12	61	Sabbia con ghiaia		15	38	Sabbia con ghiaia
	15	29	Sabbia con ghiaia		18	30	Sabbia con ghiaia
	18	26	Sabbia limosa		21	44	Sabbia con ghiaia
	21	57	Sabbia limosa		24	55	Sabbia limosa
	24	32	Sabbia argillosa		25,5	21	Sabbia limosa
	27,5	31	Sabbia argillosa		28,5	28	Sabbia limosa
	30	32	Sabbia argillosa		31,5	22	Sabbia limosa
S2	3	7	Sabbia limosa	S4	3	7	Sabbia limosa
	6	8	Sabbia limosa		6	6	Sabbia limosa
	9	14	Sabbia limosa		9	6	Argilla limosa
	12	34	Sabbia e ghiaia		12	21	Sabbia con ghiaia
	15	R	Ghiaia con sabbia		15	36	Sabbia con ghiaia
	18	37	Sabbia e ghiaia		18,7	17	Argilla torbosa
	21	46	Sabbia e ghiaia		21	43	Sabbia con ghiaia
	24	48	Sabbia		24	32	Sabbia limosa
	28	31	Sabbia limosa		27	R	Sabbia con ghiaia
	30,2	32	Sabbia limosa		30	R	Sabbia con ghiaia

Tabella 7.12 Sondaggi eseguiti. Risultati prove SPT (litologia come da colonna stratigrafica)

In ogni sondaggio sono state condotte n° 4 prove di permeabilità tipo Lefranc a carico variabile nei terreni variamente sabbiosi che restituiscono, come riepilogato in Tabella 7.13, permeabilità comprese fra 10^{-6} m/s e 10^{-7} m/s con punte massime di 10^{-5} m/s in superficie fra 4-6 m da p.c., in linea con la granulometria dei terreni.

Sondaggio	Profondità	Litologia	Permeabilità (m/s)
S1/24	3,8-6	Sabbie limose e sabbie argillose	1,36 10-5
	13,1-15	Sabbie ghiaioso limose	2,24 10-6
	23,6-25,5	Sabbie e sabbie argillose	1,65 10-7
	34,1-36	Limi sabbiosi	1,56 10-6
S2/24	7,1-9	Limi argillosi	2,97 10-7
	13,1-15	Sabbie ghiaiose e ghiaie sabbiose	2,38 10-6
	23,6-25,5	Sabbie limose	3,67 10-7
	34,1-36	Sabbie limose	2,13 10-7
S3/24	8,7-10,5	Sabbie limose	2,26 10-6
	15-16,5	Ghiaie e sabbie	2,29 10-6
	22,2-24	Sabbie limose	3,89 10-7
	32,7-34,5	Sabbie limose	4,94 10-7
S4/24	3,8-6	Sabbie e sabbie limose	1,32 10-5
	13,5-15	Sabbie con ghiaia	3,43 10-6
	24-25,5	Sabbia limosa	1,03 10-6
	34,5-36	Sabbia limosa	2,84 10-7

Tabella 7.13 Indagini eseguite. Prove Lefranc

7.2.3. Prove di laboratorio geotecnico

Sui campioni prelevati nel corso dei sondaggi sono state condotte, presso un laboratorio autorizzato, le seguenti prove di classificazione e caratterizzazione:

- granulometria completa per setacciatura e sedimentazione, oltre a limiti di Atterberg, per tutti i campioni, rimaneggiati e indisturbati;
- determinazione del peso di volume, peso specifico e contenuto naturale d'acqua per tutti gli indisturbati;
- determinazione del contenuto di sostanza organica sulla maggior parte dei campioni;
- prova di taglio diretto su campioni indisturbati e su rimaneggiati ricostituiti, e prova edometrica sugli indisturbati;
- in programma era prevista anche l'esecuzione di prove triassiali CU, ma all'atto dell'apertura dei campioni le caratteristiche dei terreni hanno consigliato l'esecuzione di prove di taglio diretto in quanto la preparazione del provino per la triassiale risultava molto difficile.

I risultati, riepilogati in Tabella 7.14, segnalano la presenza nei primi 10-12,5 m da p.c di sabbie limose debolmente argillose (sabbia 50-80%, limo 20-30%, argilla 5-10%) con intercalazioni limoso argilloso sabbiose (sabbia 5-30%, limo 40-50%, argilla 35-50%). A seguire sabbie limoso argillose debolmente ghiaiose o, a tratti, ghiaie sabbioso limose (ghiaia 0-50%, sabbia 35-80%, limo 25-50%, argilla 5-15%). Il contenuto d'acqua è compreso fra 20-35% per un grado di saturazione del 90% sino al 99%. Il peso di volume è tendenzialmente crescente con la profondità passando da 18,5 kN/mc in superficie sino a 19 kN/mc a 35 m da p.c., con punte minime di 17 kN/mc per le frazioni limoso argillose ricche in sostanza organica. I limiti di Atterberg restituiscono valori più elevati rispetto alle indagini pregresse (dove questa analisi era però limitata a tre soli casi) con Wl 40-45 ed Ip 15-20; nel diagramma di Plasticità di Casagrande sono limi e argille a media plasticità. Il contenuto di sostanza organica dove rilevato è mediamente compreso fra 1,7% e 5,5%, con una punta del 18,9% di un'argilla torbosa per un campione fra 17,6-18 m da p.c. Rimandando alla relazione geotecnica per

un commento dei parametri di resistenza, le prove palesano nei terreni fini angoli d'attrito variabili fra 24°-25° con coesione 3-5 kPa, nelle sabbie sciolte superficiali angolo d'attrito 27°-31° con coesione 2-4 kPa, nelle sottostanti sabbie più addensate angolo d'attrito 29°-32° con coesione 2-8 kPa.

›ndaggio	Campione	Profondità (m)	Litologia (da stratigrafia)	W (%)	P/V (kN/mc)	e	Poros (%)	Sat. (%)	Wl (%)	Wp (%)	Ip	Ic	Ghiaia (%)	Sabbia (%)	Limo (%)	Argilla (%)	Sost. Org. %	Φ' (°)	c' (kPa)
S1	CI1	6,0-6,4	Argilla	38,7	17	1,2	53,7	90	46,2	26,5	20	0,38	0	5,4	51,7	42,9	3	20,4	5,5
	CI2	27-27,5	Sabbia argillosa	25,8	19,1	0,8	42,8	93,4	39,9	23,9	16	0,88	0	59,9	35,2	4,9		31,8	8,9
	CI3	34,6-35	Sabbia argillosa	23,9	19,3	0,7	41,2	92,4	39,5	18,9	21	0,76	0	36,8	54,3	8,9			
	CR1	3,55-4	Sabbia argillosa		18,4	0,7	42	74,5					9,5	63,9	21,6	5		31	12,3
	CR2	7,0-7,4	Argilla	30					41	19,2	22	0,5	0	6,3	49,5	44,2	4,5		
	CR3	8,7-9	Sabbia argillosa	25,7					38,7	18,2	21	0,63	1	27,2	62,5	9,3		24,3	2,9
	CR4	11,7-12	Sabbia argillosa										16,1	53,7	24,8	5,4			
	CR5	19-20	Sabbia										2,3	70,4	23,7	3,6			
	CR6	29-29,0	Sabbia argillosa										0	26,1	54,3	19,6			
	CR7	32-32,5	Sabbia argillosa										0	36,7	47,3	16			
	CR8	36-36,4	Sabbia argillosa						42,3	26,4	16	0,83	0	5	48,6	46,4			
S2	CI1	7,0-7,5	Limo sabbioso argilloso	33,9	18,5			99,5	44,3	25,4	29	0,55	0	9,3	51,8	38,9	5,2	24,7	4,9
	CR1	4,8-5	Sabbia limosa	18					41	16,3	25	0,93	0	7,8	57,5	34,7	1,75		
	CR2	8,5-9	Sabbia limosa	21,9					35,6	16,4	19	0,71	0	89,3	10,7		5,6	27,3	0,4
	CR3	11,7-12	Sabbia con ghiaia	21									20,4	64,9	14,7		1,83		
	CR4	13,7-14	Ghiaia	14,2									48,7	46,6	4,7				
	CR5	18,6-18,8	Sabbia e ghiaia	20,6									0	95	5				
	CR6	23,5-23,85	Sabbia limosa	24,9					40,6	22	19	0,85	0	60,2	28,3	11,5	2,4	29,1	3,5
	CR7	32,5-32,9	Sabbia con limo	31,2									0	28	54,6	17,4			
	CR8	37,6-38	Sabbia con limo	27,1					39,3	24,1	15	0,82	0	23,2	56,6	20,2	2,5	29,3	5,7
S3	CR1	7,20-7,6	Limo argilloso plastico	30,5					42,6	22,3	20	0,6	0	4,8	52,9	42,3	3,4		
	CR2	13,6-13,8	Sabbia e ghiaia										50,6	40,7	8,7		2,9	32,6	0,2
	CR3	17,3-17,85	Sabbia limosa con torba	19										86,6	13,4		1,68	30,8	1,2
	CR4	19,0-19,55	Sabbia limosa	26,3										92,5	7,5		2	30,1	1,5
	CR5	23,10-23,30	Sabbia e ghiaia	28,1					38,4	25,5	13	0,8	24,3	38,6	27	10,1	2,8		
	CR6	26,6-27,0	Limo sabbioso	29,1					42,9	26,8	16	0,86	0,6	38,4	46,6	14,4	1,58		
	CR7	30,1-30,5	Sabbia limosa	29,8					39,1	26,7	12	0,75		55,4	38,6	6	0,82	27,7	9,6
	CR8	34,0-34,5	Sabbia limosa	28,6					40,5	22,8	18	0,67		34,1	50	15,9	1,8		
S4	CI1	7,5-8	Argilla limosa	34,1	16,7	1,1	53,2	81,6	40,8	24,4	16	0,41	0	53,1	34,5	12,4	6	25	4,5
	CI2	18,2-18,7	Argilla torbosa	35,1	15,9	1,3	56,2	74,9	44,5	28,5	16	0,59	0	6,2	59,8	34	8,2	24,9	8,3
	CR1	3,65-4	Sabbia limosa	27,9					39,6	20,4	19	0,61	3,3	33,4	39,2	24,1			
	CR2	8,5-9	Argilla limosa	28,8					40,4	20,5	20	0,58	0	5,2	41,1	53,7	3,3		
	CR3	11,6-11,9	Sabbia con ghiaia	22,5					34,8	17,9	17	0,73	0	62	30,3	7,7			
	CR4	15,6-16	Sabbia con ghiaia										37,9	40,6	17,4	4,1		28,9	1,7
	CR5	17,6-18	Argilla torbosa	30,3					42	26,7	15	0,77	0	4,1	50,4	45,5	18,9		
	CR6	19,65-20	Argilla limosa	33,4					45,4	27,6	18	0,68	0,2	5	45	49,8	3,2		
	CR7	25-25,4	Sabbia limosa										0	88,2	11,2			31,4	1,4
	CR8	36-36,4	Sabbia con ghiaia										2,1	78,9	16,9	2,1			

Tabella 7.14 Indagini eseguite. Risultati prove di laboratorio geotecnico

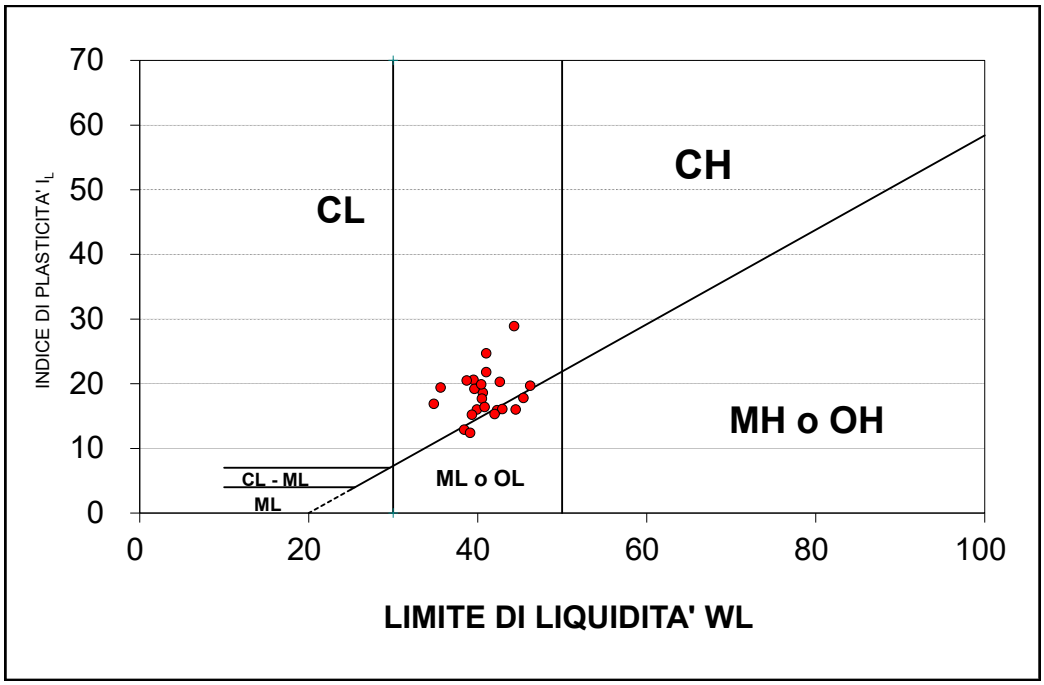

Figura 7.19 Indagini eseguite. Diagramma di plasticità di Casagrande

7.2.4. Prove di laboratorio ambientale

Dal punto di vista ambientale nel corso di ogni sondaggio si sono prelevati n° 3 campioni di terreno, distribuiti fra p.c. e la profondità di 3-4 m, rappresentativi dei materiali oggetto di scavo. In tale ambito le perforazioni sono state condotte a secco utilizzando prerivestimenti metallici.

Le prove sono state eseguite presso il laboratorio Geolab Srl di Rende (CS). I risultati delle analisi chimiche effettuate hanno rilevato superamenti delle concentrazioni soglia di contaminazione (CSC) fissate dalla Tabella 1, Colonna A per ”Siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale “ per i seguenti analiti:

1. Sondaggio S2. C1, Profondità 1,55-1,75m. Cobalto 22 mg/Kg su un limite di 20;
2. Sondaggio S2. C2, Profondità 2,85-3,00m. Cobalto 36 mg/Kg su un limite di 20;
3. Sondaggio S3. C1, Profondità 2,70-2,90m. Cobalto 23 mg/Kg su un limite di 20;
4. Sondaggio S4. C2, Profondità 1,90-2,00m. Idrocarburi pesanti 185 mg/Kg su un limite di 50;
5. Sondaggio S4. C3, Profondità 2,15-2,30m. Idrocarburi pesanti 500 mg/Kg su un limite di 50;

I superamenti di cui ai campioni dei punti 1 e 3 sono compresi nella possibile incertezza della misura.

Tutti i risultati sono comunque conformi alle CSC di cui alla Colonna B “Siti ad uso commerciale ed industriale”, del D.LGS. 152/2006 Allegato 5, Parte Quarta.

Nel sondaggio S2/24 è stato altresì prelevato un campione d’acqua di falda mediante pompa sommersa e preventivo espurgo del foro. I risultati dell’analisi sono riportati in Figura 7.20.

Parametro ricercato	Unità di Misura	Valore
Solfato	mg/l	54
pH	unità pH	7,6
Anidride carbonica CO2	mg/l	0,73
Ammonio	mg/l	0,50
Magnesio	mg/l	31

Figura 7.20 Indagini eseguite. Analisi chimica campione d'acqua da sondaggio S2/24

7.2.5. Prove penetrometriche statiche continue con punta elettrica e piezocono (CPTU)

Stante una acclarata e spiccata variabilità stratigrafica verticale e orizzontale i sondaggi sono coadiuvati da prove penetrometriche statiche con punta elettrica e piezocono (CPTU). È questa una modalità d'indagine speditiva, leggera, poco invasiva e particolarmente economica che permette non solo il riconoscimento stratigrafico ma anche una prima caratterizzazione dei terreni attraversati ed una attendibile verifica della suscettibilità alla liquefazione.

La profondità inizialmente prevista di queste prove era di 40 m da p.c. All'atto pratico le caratteristiche dei terreni, ed in particolare la presenza di orizzonti ghiaiosi e/o di maggiore densità ha comportato, in 4 casi su 9, l'insorgenza di condizioni di rifiuto già fra 11-13 m da p.c., al tetto dell'unità sabbiosa maggiormente addensata. In ogni caso le massime profondità raggiunte si attestano fra circa 24-30 m da p.c., attraversando così almeno in parte l'unità sabbiosa maggiormente addensata.

I risultati delle prove sono sinteticamente riepilogati in Tabella 7.15. Al di sotto della coltre di riporto, spesso superata mediante un preforo, sono presenti depositi limoso sabbioso argillosi da poco a mediamente addensati, o limoso argillosi poco consistenti, con resistenza alla punta inferiore o molto inferiore a 5 Mpa, che si spingono sino alla profondità di 10-12,5 m da p.c. Ad essi fanno seguito sabbie, sabbie limose e sabbie ghiaiose da addensate a ben addensate con resistenza alla punta di 10-40 Mpa, entro le quali le prove raggiungono, come detto, condizioni di rifiuto. Talvolta (vedi prove CPTU3 e CPTU8) fra 26-29 m da p.c. sono presenti locali intercalazioni limoso sabbiose. A titolo di esempio in Figura 7.21 si riporta il diagramma della resistenza alla punta e resistenza laterale della CPTU1, posizionata in corrispondenza del margine nord dell'attuale scalo merci, futuro sedime del nuovo terminal partenze.

CPT	Profondità m	Da m. a m.	Qc (Mpa)	Descrizione
CPTU1	23,92	0-10,5	0,5-5	Limi sabbioso argillosi poco addensati e limi argillosi soffici con sostanza organica
		10,5-23,92	15-40	Sabbie, sabbie limose e sabbie ghiaiose da mediamente addensate a ben addensate
CPTU2	11,90	0-11,3	0,5-4	Limi sabbioso argillosi poco addensati e limi argillosi soffici con sostanza organica
		11,3-11,9	15-20	Sabbie, sabbie limose e sabbie ghiaiose da mediamente addensate a ben addensate
CPTU2bis	25,14	0-10,5	0,5-5	Limi sabbioso argillosi poco addensati e limi argillosi soffici con sostanza organica
		10,5-25,14	10-40	Sabbie, sabbie limose e sabbie ghiaiose da mediamente addensate a ben addensate
CPTU3	29,71	0-10,8	0,5-4	Limi sabbioso argillosi poco addensati e limi argillosi soffici con sostanza organica
		10,8-26	10-40	Sabbie, sabbie limose e sabbie ghiaiose da mediamente addensate a ben addensate
		26-29,71	3-5	Limi sabbiosi mediamente addensati
CPTU4	18,01	0-10,9	0,5-4	Limi sabbioso argillosi poco addensati e limi argillosi soffici con sostanza organica
		10,9-18,01	15-40	Sabbie, sabbie limose e sabbie ghiaiose da mediamente addensate a ben addensate
CPTU5	12,70	0-9,5	1-5	Limi sabbiosi mediamente addensati e limi argillosi soffici con sostanza organica
		9,5-12,7	10-20	Sabbie, sabbie limose e sabbie ghiaiose da mediamente addensate a ben addensate
CPTU6	12,54	0-10	1-5	Limi sabbiosi mediamente addensati e limi argillosi soffici con sostanza organica
		10-12,5	15-20	Sabbie, sabbie limose e sabbie ghiaiose da mediamente addensate a ben addensate
CPTU7	11,96	0-11,5	0,5-4	Limi sabbioso argillosi poco addensati e limi argillosi soffici con sostanza organica
		11,5-11,96	20	Sabbie, sabbie limose e sabbie ghiaiose da mediamente addensate a ben addensate
CPTU8	27,80	0-11,5	0,5-5	Limi sabbioso argillosi poco addensati e limi argillosi soffici con sostanza organica
		11,5-26	10-30	Sabbie, sabbie limose e sabbie ghiaiose da mediamente addensate a ben addensate
		26-27,8	2,5-5	Limi sabbiosi mediamente addensati

Tabella 7.15 Indagini eseguite. Riepilogo prove CPTU

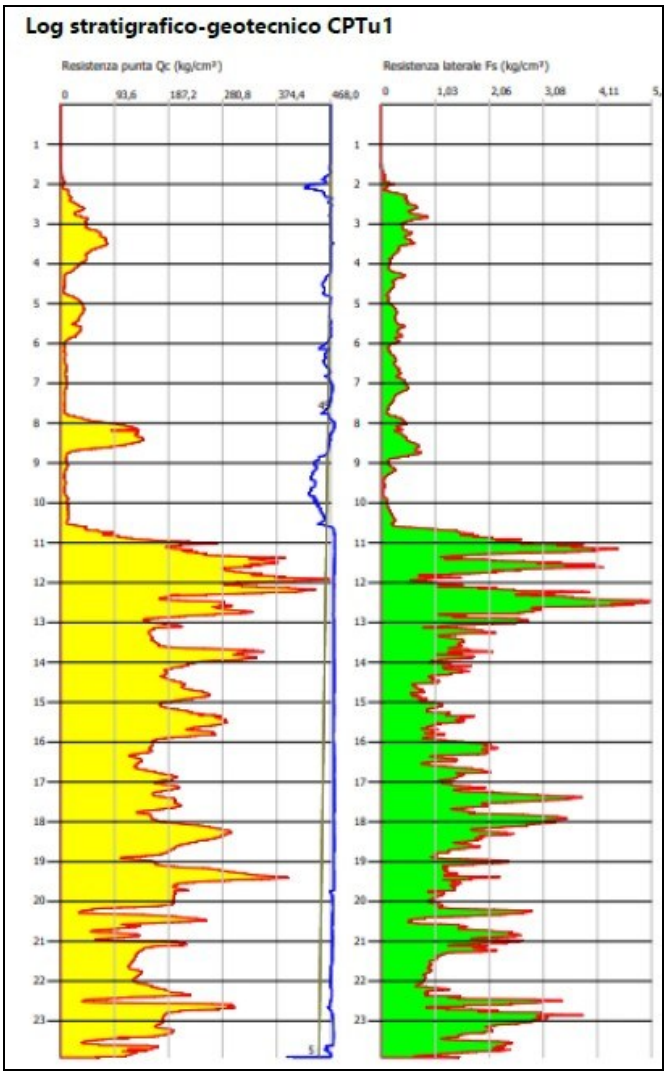

Figura 7.21 Indagini eseguite. Diagramma prova CPTU1

Nel corso delle CPTU sono state condotte n° 11 prove di dissipazione concentrate fra le profondità di 4-8m e fra 20-30m da p.c. Interpretate tramite il parametro t50 (sec) ed il diagramma di Pariez & Fauriel (Figura 7.22) restituiscono nel primo caso permeabilità nell'ordine di 10^{-9} m/s e nel secondo di 10^{-8} m/s, valori questi inferiori a quelli desunti dalle prove Lefranc.

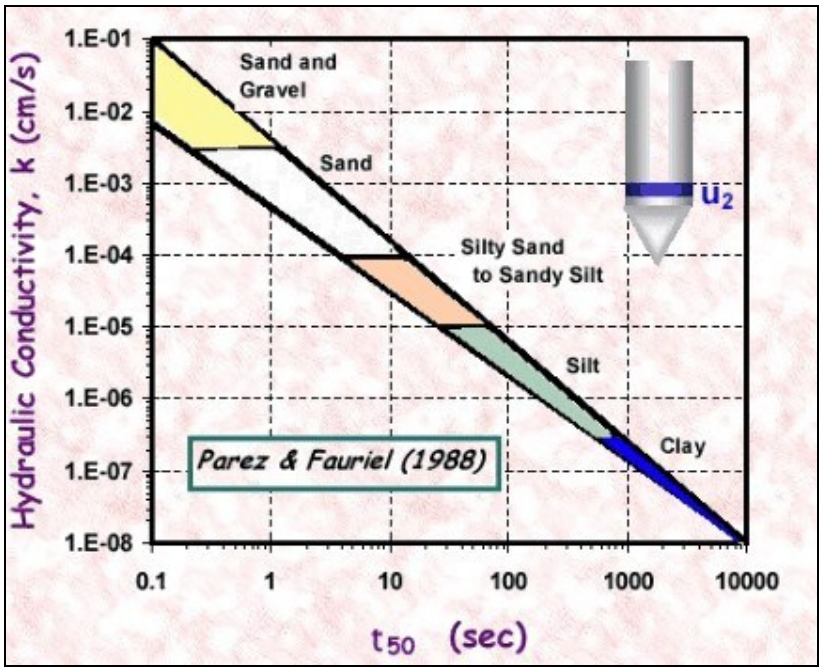

Figura 7.22 Diagramma di Parez e Fauriel per la stima della permeabilità da prova di dissipazione

Al termine di ciascuna prova penetrometrica è stato acquisito il livello di falda che risulta attestarsi a circa 3,5 m da p.c.

7.2.6. Indagini geofisiche

Nell'ambito delle indagini pregresse sono disponibili i risultati di numerose Masw, oltre a prove HVSR e down hole. Si è comunque ritenuto utile in questa sede prevedere ulteriori n° 3 Masw posizionate due in corrispondenza del terminal partenze, in una zona mai indagata in precedenza con questa metodologia, ed una sul margine ovest dell'aerostazione attuale, futuro terminal arrivi. Lo scopo era quello non tanto di determinare la categoria di suolo di fondazione, che dalle indagini pregresse risulta sempre essere tipo C, quanto verificare la presenza di inversioni di velocità segnalate da alcune indagini pregresse.

I risultati ottenuti riportano velocità sempre crescenti verso il basso senza inversioni di velocità, o con inversioni assai modeste e del tutto trascurabili (nella Masw2 da 202 m/s a 200 m/s intorno a 10m da p.c.). Nella zona del terminal partenze (Masw1 e 2) un evidente incremento di velocità è segnalato fra 15-16 m da p.c., senza un particolare riscontro di quanto evidenziato dalle indagini dirette (sondaggi e prove penetrometriche) dove i materiali meno addensati sono limitati alle profondità di 10-12,5 m da p.c.

I valori di Vs30 sono variabili fra 217,1 m/s in Masw 1, 250,8 m/s in Masw 2 e 279,7 m/s in Masw 3; si conferma una Vs30 di riferimento intorno a 250 m/s, in analogia con la maggior parte delle Masw pregresse effettuate nell'intorno dell'aerostazione, per una categoria di suolo di fondazione che è sempre la C.

In Figura 7.23 l'ubicazione delle Masw ed in Figura 7.24 i relativi grafici interpretativi.

Figura 7.23 Indagini eseguite. Ubicazione Masw

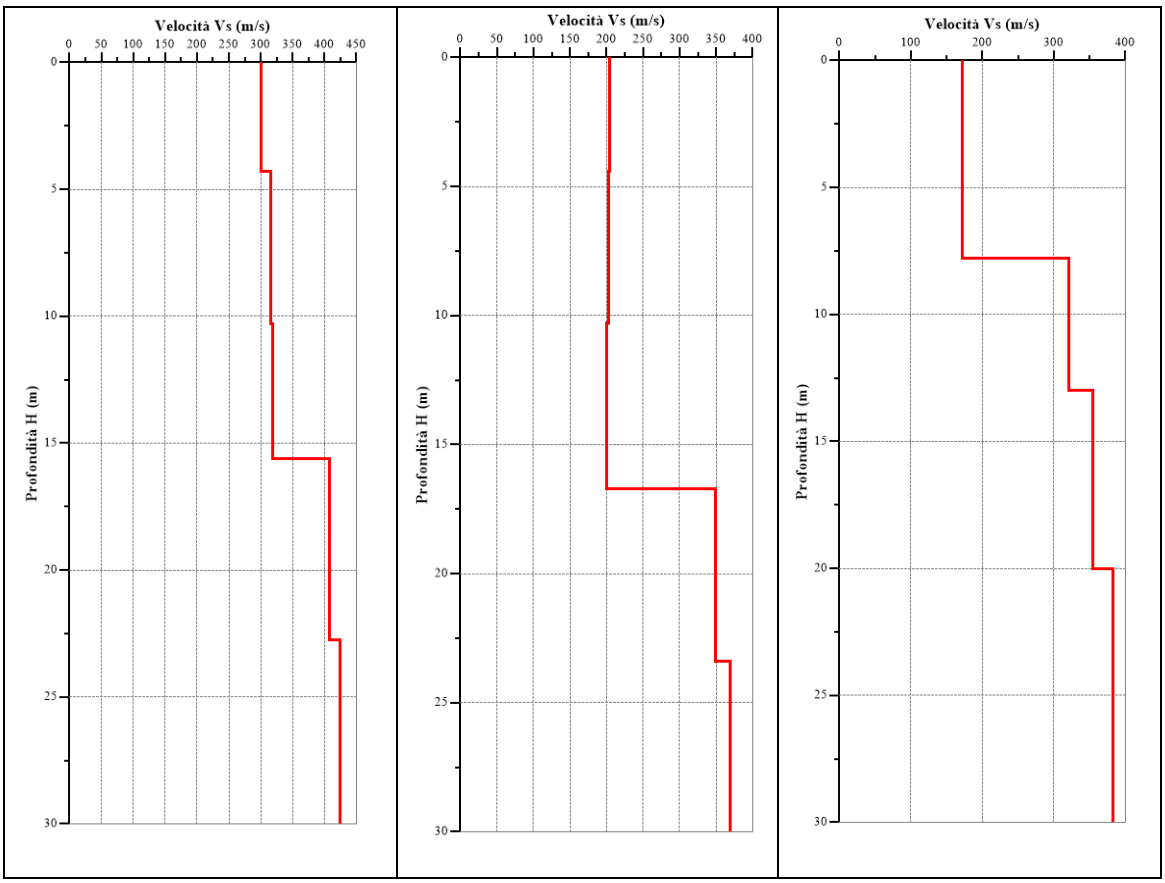

Figura 7.24 Indagini eseguite. Da sinistra a destra Masw1, Masw2 e Masw3

8. INTERAZIONI OPERE TERRENI E CONCLUSIONI

Il progetto in studio è relativo agli interventi di ammodernamento ed infrastrutturazione dell'aeroporto civile di Lamezia Terme (Cz). Le opere principali prevedono l'adeguamento dell'attuale aerostazione per riconfigurarla a nuovo terminal arrivi, la demolizione dell'aerostazione merci su cui realizzare il nuovo terminal partenze, la demolizione di altri due fabbricati ed il potenziamento dei sottoservizi e impianti tecnologici.

L'area in studio si colloca nella circoscrizione di Sant'Eufemia, facente parte del Comune di Lamezia Terme (Catanzaro) rispetto al quale ricade nella porzione sudoccidentale del territorio.

La presente progettazione si è avvalsa dei risultati forniti da indagini pregresse eseguite nell'ambito di altri e precedenti interventi progettuali, nonché degli esiti di una campagna geognostica specificamente eseguita nei primi mesi del 2024, affidata alla ditta Istemi di Mercato San Severino (Salerno) e comprensiva di n° 4 sondaggi a carotaggio continuo con prove in sito e di laboratorio su campioni geotecnici ed ambientali, n° 9 prove penetrometriche continue con piezocono e prove di dissipazione, n° 3 Masw.

Dalle informazioni bibliografiche e geognostiche disponibili si evince la presenza, al di sotto di una coltre di materiale di riporto non particolarmente addensato e di spessore circa 2-3 m, di depositi alluvionali di recente deposizione. In particolare, si riscontra inizialmente un pacchetto di sabbie limose argillose o limi sabbioso argillosi di colore grigiastro da poco a mediamente addensati che si spingono sino a circa 10-12,5 m, con un orizzonte limoso argilloso con sostanza organica (torba e lignite) compressibile localizzabile fra circa 5,5-8,0 m nei quadranti orientali ed occidentali, e fra circa 8-16 m in quelli centrali dove a sua volta ingloba straterelli sabbioso limosi. Seguono sabbie, sabbie limose e sabbie ghiaiose da addensate a ben addensate di colore marroncino o grigiastro che raggiungono quantomeno le massime profondità indagate (40-50 m da p.c.) con possibili, rare e subordinate intercalazioni limoso sabbiose o limoso argillose. In generale si può riscontrare una spiccata variabilità stratigrafica laterale e verticale imputabile alla successione nello spazio e nel tempo di ambienti di deposizione a diversa energia come possono essere quelli di canale fluviale, di area d'interfluvio, di ambiente marino costiero o ancora rappresentativi di locali e temporanei impaludimenti. Secondo riferimenti bibliografici più in profondità sono presenti depositi a granulometria grossolana in appoggio a loro volta su un potente complesso di argille grigie sovraconsolidate; a seguire ed a profondità non inferiori a 130-150 m dal p.c. (secondo alcune fonti anche 300 m) il substrato roccioso in facies metamorfica, alla cui individuazione hanno contribuito alcuni stendimenti geofisici tipo HVSR.

La falda è stata rilevata a profondità variabili fra 3-4,5 m da p.c. durante tutte le indagini eseguite, sia recenti che pregresse. Tale variabilità dipende in parte dalla stagionalità (i rilevamenti sono stati fatti non solo in periodi stagionali ma anche in anni diversi) e probabilmente anche dalla diversa distanza dai corsi d'acqua che, a seconda del momento, possono fungere da assi di drenaggio o alimentazione. Il modello stratigrafico è compatibile con un sistema acquifero multifida, in tale ambito il livello sopra indicato è quello relativo alla falda più superficiale, che probabilmente mantiene rapporti con i corsi d'acqua circostanti, mentre le falde più profonde possiedono caratteri di artesianesimo. In ogni caso quello della piana lametina è uno degli acquiferi più noti in ambito regionale, sfruttato anche a scopo idropotabile. Tutte le opere di captazione di sorgenti e pozzi sono comunque collocate ben più a monte del sedime aeroportuale, dove la granulometria dei terreni, e quindi la loro permeabilità, risulta maggiore.

Dal punto di vista geomorfologico l'area in cui ricade il sedime aeroportuale è pianeggiante e prossima alla linea di costa, da cui dista circa 2 Km, con quote comprese fra 8-10 m slm. La linea di costa è stabile o in leggera progressione, favorita in ciò da sistemi dunali fissati dalla vegetazione e dagli apporti dei principali corsi d'acqua. Non si riscontrano aree di dissesto o di frana in atto o potenziale, ed in generale la pericolosità geomorfologica è bassa. Una condizione di pericolosità

idraulica bassa e di rischio medio è censita dalla recente adozione del Progetto di Piano Stralcio di Bacino del Distretto Idrografico dell'Appennino Meridionale per l'Assetto, la Mitigazione e la Gestione del rischio da Alluvioni – Calabria/Pao (PSdGDAM-RisAl-Cal/L) approvato con delibera 2 del 24/10/2024.

Per un maggiore dettaglio e per rappresentare l'interazione opere terreni la presente relazione si completa ed integra con gli elaborati grafici relativi a planimetria ubicazione indagini, carta geologica e geomorfologica, carta idrogeologica, sezione geologica trasversale. Ulteriori e specifici elaborati raccolgono i risultati delle indagini pregresse e quelle eseguite.

Dal punto di vista sismico il territorio di Lamezia Terme, come la provincia di Catanzaro e più in generale molte zone della Calabria, è a pericolosità elevata. Nella classificazione sismica successiva all'OPCM 3270 il comune di Lamezia rientra in zona simica 1, la più alta a livello nazionale. Faglie capaci e sismogenetiche sono censite nelle aree circostanti.

Le indagini effettuate hanno evidenziato valori medi delle Vs30 intorno a 250 m/s per una categoria di suolo di fondazione tipo C.

Tenuto conto del periodo di riferimento adottato per la progettazione (Vn = 100 anni, classe d'uso IV, Vr = 200 anni) del livello di falda, della granulometria e dello stato di consistenza dei terreni, sussiste un rischio di liquefazione alto a carico degli orizzonti granulari meno addensati. Di tale aspetto si è debitamente tenuto conto nel dimensionamento delle opere in fondazione.

Le elevate profondità cui si colloca il tetto del substrato sismico, sottolineate dall'elaborazione e dai valori di picco delle frequenze nelle prove HVSR, sono tali da far prevedere scarsi fattori di amplificazione stratigrafica; lo spettro di normativa per la classe C contiene al suo interno lo spettro calcolato mediante gli studi di risposta sismica locale (RSL) svolti nel medesimo sito per altri interventi progettuali (es. indagini 2023 sul corpo avanzato e indagini 2013 del I lotto funzionale).

La presenza di materiali sciolti, spesso ed almeno nei livelli più superficiali poco addensati o scarsamente consistenti, a luoghi ricchi in sostanza organica, tipicamente caratterizzati da una estrema variabilità laterale e verticale, ha richiesto l'adozione di fondazioni di tipo indiretto su pali di grande diametro per le principali pensiline, per la nuova aerostazione (terminal partenze) e per le torri sismiche da realizzare in corrispondenza dell'adeguamento aerostazione esistente; il medesimo approccio e tipologia fondazionale è stato adottato nelle precedenti fasi progettuali. Laddove vi sono strutture leggere che trasmettono carichi modesti è altresì possibile il ricorso a fondazione dirette. Nel valutare eventuali scavi di sbancamento o in fondazione si deve tener conto della presenza di una falda che si attesta mediamente a 3,50 m da p.c., con locali punte minime attorno a 3,00 m da p.c.

I terreni proveniente dai lavori, ovvero sia da eventuali scavi che dalla trivellazione dei pali di fondazione, avranno una certa componente limosa e come tali spesso poco si prestano, dal punto di vista geotecnico, ad un eventuale riutilizzo, a meno che non possano trovare impiego in riempimenti, livellamenti e più in generale per opere non strutturali. Dal punto di vista ambientale rientrano nei limiti di colonna B.

Salvo quanto sopra alla luce dei risultati delle indagini geognostiche disponibili e delle caratteristiche delle opere previste non si rilevano particolari impedimenti o condizionamenti di natura geologica, geomorfologica e idrogeologica alla realizzazione del progetto, per il quale è possibile esprimere un giudizio finale di sostanziale fattibilità.

Si ritiene utile comunque formulare le seguenti osservazioni:

- la presenza di terreni fini limoso argillosi o limoso sabbiosi poco consistenti consiglia l'adozione di scarpate adeguatamente abbattute sia per gli scavi provvisionali sia, in particolare, per eventuali scavi definitivi. In alternativa e laddove questioni di spazio lo richiedono, potranno adottarsi opere di sostegno quali muri, terre armate o terre rinforzate;

- durante la fase di trivellazione dei pali di fondazione i terreni attraversati potranno risultare instabili; per tale motivo sarà da prevedere l'impiego di fanghi bentonitici o rivestimenti metallici provvisori da estrarre progressivamente in fase di getto;

- è opportuno prevedere una corretta gestione delle acque ruscellanti con fossi di guardia che le allontanino dal sedime di lavoro;

- eventuali acque di aggottamento dovranno essere scaricate in adeguato recettore, o in fognatura, dopo una opportuna caratterizzazione chimico ambientale che ne verifichi la compatibilità ai sensi della normativa vigente;

- il materiale scavato dovrà essere gestito rispettando le vigenti normative ambientali.